

垦东北部馆陶组上段河道砂体储层描述方法

宋青¹, 刘震², 潘中华¹, 张云涛¹

(1. 胜利油田分公司物探研究院, 山东 东营 257022; 2. 中国石油大学(北京), 北京 102249)

摘要: 垦东北部新近系馆陶组上段(简称馆上段)油气富集程度高, 是该区主要的含油层系。针对馆上段四砂组内部储层发育情况, 根据研究区储层测、录井资料, 总结了三种砂体沉积模式(单河道模式、双河道叠置模式、多河道叠置模式), 精细解剖砂体的叠置特征是进一步挖潜的重点。通过近道集叠加、分频重构、地层切片融合以及瞬时振幅属性技术, 对多期叠置河道开展储层描述研究, 落实了河道形态展布以及砂体厚度分布, 对有利储层发育区进行有效预测。

关键词: 河流相; 叠置河道; 储层描述; 馆上段; 垦东北部

中图分类号: TE122 **文献标志码:** A

Reservoir description method for channel sandbodies in upper Ng of northern KD

SONG Qing¹, LIU Zhen², PAN Zhonghua¹, ZHANG Yuntao¹

(1. Geophysical Research Institute of Shengli Oilfield Branch Co., Dongying 257022, China; 2. China Petroleum University(Beijing), Beijing 102249, China)

Abstract: The upper Ng of Northern KD has a high degree of oil and gas enrichment. Therefore, it is the main oil-bearing strata in this area. Based on lithology logging and cores, it was summarized three modes of sandbody deposition: single channel, double channel superposition, and multi-channel superposition. Finely dissecting the superposition characteristics of sandbodies is the key to further explore the potential. By using near-channel stacking, frequency division reconstruction, stratigraphic slice fusion, and instantaneous amplitude attribute technology, it was carried out studies on reservoir description of the multi-stage superimposed channel. The distribution of channel morphology and sandbody thickness have been implemented, and the favorable reservoir development areas have been effectively predicted.

Key words: fluvial facies; superposition channel; reservoir description; upper Ng; northern KD

精细、准确的储层描述可以帮助解决实际勘探中的一些重要问题。根据测井、录井资料分析, 垦东北部新近系馆陶组上段大多数储层为薄层或薄互层。相邻薄层之间由于岩性不同, 会产生不同的传播速度, 从而产生波阻抗差, 而薄层顶底界面产生的反射波时差小, 会导致接受的反射波是多个反射波的叠加, 因此薄层顶底界面识别难度大^[1-2]。

目前, 薄层砂体的地震描述大都基于Widess楔状模型, 但对于砂体之间具有纵向上相互叠置的薄层砂体, 地震识别及评价较难。前人通过对河流沉积学的研究, 已总结归纳出单一河道沉积模式。实际上许多看似横向稳定分布的砂体, 是多河道叠加的结果。对河道叠置情况的认识, 将直接影响到勘探开发效果, 也对下一步挖潜方向有一定的指导作

用。本文通过对曲流河的沉积特征及演化过程研究, 总结沉积模式, 在多期河道砂岩的发育基础上, 对储层发育有利区带进行有效落实。

1 砂体沉积模式

垦东北部位于黄河入海口的滩涂地带及0~15 m水深极浅海水域, 北、东两面环海, 主力含油层系为新近系馆陶组和明化镇组地层^[3]。前人通过该区新近系沉积构造以及河流相“二元结构”研究, 认为该区馆上段储层为曲流河沉积, 受沉积速率变化

收稿日期: 2019-07-15; 改回日期: 2019-09-17。

第一作者简介: 宋青(1993—), 女, 助理工程师, 学士, 从事地震地质综合研究工作。E-Mail: 798221981@qq.com。

快、砂体岩性变化大的影响,其内部储油物性的非均质性明显,砂体之间具有纵向上相互叠置、横向上连通性差的特点^[4-6]。根据储层录井、测井资料,结合沉积特征和演化过程分析,总结了3种典型砂体沉积模式,即:单河道模式、双河道叠置模式及多河道叠置模式。

1.1 单河道模式

以KDG2井为例,将该井馆上段四砂组所在中期基准面旋回MST3划分为两个短期旋回SST4、SST5,这两个短期旋回中分别只发育一期河道砂体沉积,且位于各短期旋回底部,其它位置发育泥岩或粉砂质泥岩,不发育砂体,因此可以推断该井附近四砂组内部短期旋回均发育一期河道(图1)。

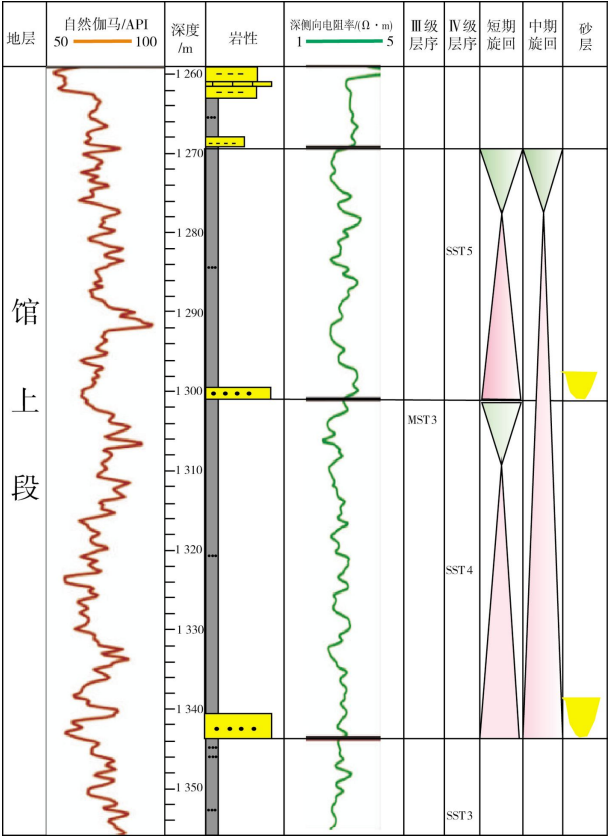


图1 KDG2井砂体沉积模式

1.2 双河道叠置模式

以KD42井为例,该井四砂组所在中期基准面旋回MST3划分为两个短期旋回SST4、SST5,其中各发育两期河道砂体沉积,且彼此独立,不相互切割,且位于各短期旋回中下部,其它位置发育泥岩或粉砂质泥岩,不发育砂体,因此可以推断该井附近四砂组内部短期旋回各发育两期河道(图2)。

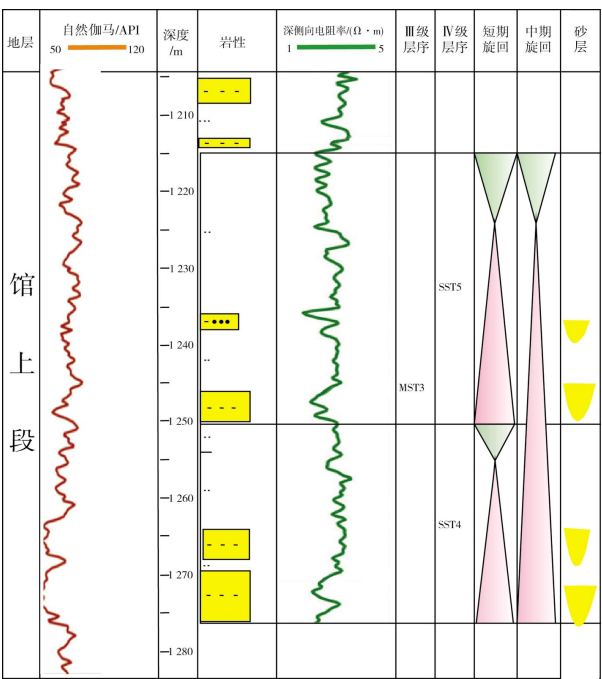


图2 KD42井砂体沉积模式

1.3 多河道叠置模式

以KD891井为例,该井四砂组所在中期基准面旋回MST3划分为两个短期旋回SST4、SST5,各发育多期河道砂体沉积,各短期旋回各部位均有发育,砂体厚度较大,且泥岩夹层较薄,因此可以推断该井附近四砂组内部短期旋回各发育三期以上的河道,并且河道相互切割叠置现象较为常见(图3)。

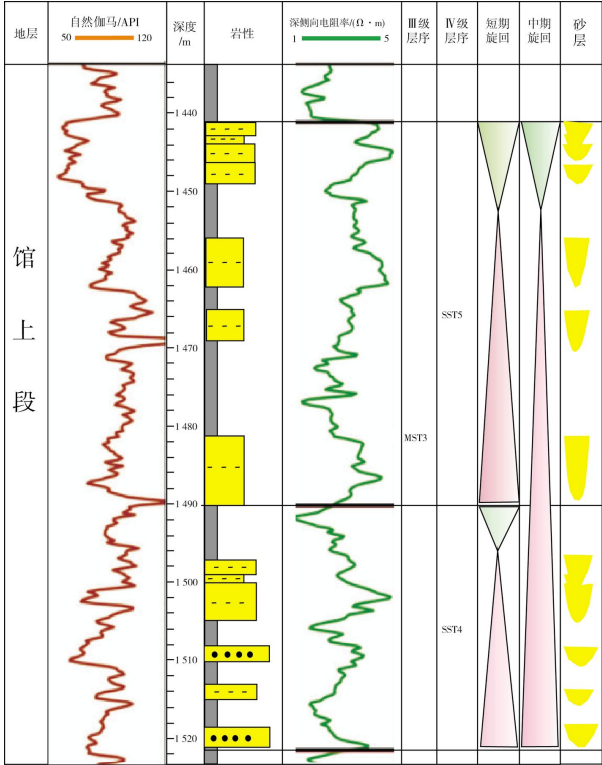


图3 KD891井砂体沉积模式

2 多期叠置型砂体储层描述

2.1 近道集叠加提高分辨率

根据地震资料分辨率随入射角增大而降低的规律可知,在无噪音的理想情况下,零入射角(即自激自收)道集具有最高的分辨率。但实际反射波地震勘探中,自激自收地震反射波往往难以采集或具有较强的噪音,因此,使用一定入射角度范围内的道集叠加形成的角度道集来提高分辨率。

对于实际地震资料来说,非零相位子波,不一定角度越小分辨率越高,因此采用多角度叠加试验,来选取优势叠加角度。

利用叠前近道集叠加处理,选择不同叠加角度进行试验,随后进行全区近道集叠加处理。经过对比,可以看出 $3^{\circ}\sim 9^{\circ}$ 、 $4^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 叠加后的地震剖面地震反射同相轴连续性较差,且反射轴能量低、反射模糊; $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 地震反射轴连续最好,反射轴能量高,反射清晰。经过对比筛选,将 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 作为薄层识别的优势叠加角度,以 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 近道集叠加数据体作为后续分频处理试验的地震资料。

2.2 分频属性刻画薄层边界

地震分频信息可以提高储集层时间厚度的变化及检测地质体横向上的不连续性的识别精度,将地震数据体分解成不同频率域的调谐体^[7]。分频扫描技术是在短时窗内通过频谱分解预测储层和研究薄层变化的地震属性解释新技术,经分频处理后的地震数据的分辨率高于常规地震主频所能达到的分辨能力。另外,由于该技术可提取地震资料有效带宽范围内所有离散频率对应的调谐振幅,以交互、动态方式研究薄层在纵横向上的连续变化,在确定油藏边界和储层预测等方面比传统的地震属性研究方法具有更大的优势^[8]。

本文重点采用小波变换的方法进行分频重构,地震资料的分频过程就是小波变换的过程,值得注意的是,小波变换的结果是时间=与尺度的函数,并不是时间=与频率的函数,需要将尺度与频率进行转换。而地震资料的重构过程就是小波变换的逆过程,即经过连续小波变换的原信号,若要重构,就需要进行连续小波的逆变换。小波函数在地震信号分频重构处理中起着至关重要的作用,决定了地震信号分频重构的处理效果,因此选择合适的小波才能达到提高分辨率的目的。

(1)对常规三维数据体与叠前近道集叠加数据

体进行频谱分析,频谱分析时窗1 000~1 500 ms,分别分析15 Hz、25 Hz、35 Hz、45 Hz、55 Hz、65 Hz、75 Hz七个频率的分频剖面,随着小波频率的提高,分频重构剖面由模糊逐渐变得清晰,再由清晰变模糊,发现常规三维数据体优势成像频率为55 Hz,叠前近道集叠加三维数据体优势成像频率为65 Hz,在该成像频率下的同相轴连通关系最为清晰,地震相内部结构最为明显,在低频部分同相轴增加,地震反射内容增多,有利于薄砂岩储层的识别。

对两种剖面各自的优势成像频段分频剖面进行进一步对比,并结合岩性数据进行比对。对比后发现,常规三维数据体与叠前近道集叠加三维数据体分频前后的特点有所不同,发现与常规三维数据体相比,叠前数据体反射细节更为丰富,波峰分离,同相轴由一个变为两个。常规数据分频剖面地震反射特征更为清晰,更有利于识别地震相,而叠前近道集叠加剖面反射轴更细,垂向分辨率更高,可以更好地与岩性匹配,从而能够更好地预测砂体厚度。

(2)确定了55 Hz、65 Hz为常规三维及叠前近道集数据的优势成像频率,对分频处理后的剖面进行层位与断层精细解释与微调,在三维工区整体分频基础上进行了层位及断层的精细解释与调整,利用近道集叠加进一步提高分辨率。在对地震相识别过程中,一个充填相往往对应一段砂泥岩互层,因此,四砂组内部可识别出的一期或两期充填相常对应一套复合河道砂体而不是单期河道砂体。单河道砂体在储集物性方面的明显差异和隔夹层的存在,导致复合河道砂体含油不均匀,在勘探开发早期,确定单个河道砂体的展布特征,有利于建立储集层的地质模型;但是到勘探开发后期,识别河道砂体叠置关系有助于挖掘剩余油^[9-10]。多河道叠置模式以KD891井为例,各旋回可划分多期河道,并垂向叠置,四砂体内部可划分出两期充填相,分别对应四砂组上段短期旋回内部砂体与四砂组下段短期旋回内部砂体。双河道叠置模式以KD42井为例,四砂组内部可划分出一期充填相,四砂组上下均包含在这一期充填相中,是四砂组上段短期旋回内部砂体与四砂组下段短期旋回内部砂体在地震上的共同响应。单河道叠置模式以KDG2井为例,四砂组内部主要为单期河道短轴形的地震反射特征。

2.3 地层切片融合落实河道展布

随着三维勘探技术的应用,切片数据成为了三维地震数据解释的重要手段,目前的切片数据主要

是包括水平时间切片、沿层切片和地层切片。其中,地层切片技术是在地震剖面上找出与等时的或平行等时面的同相轴,在其间做内插,将内插后的切片视为等时的。地层切片的应用,可以使人们从平面上观察地震数据和各种属性的变化,也可以降低沉积相地质解释的多解性^[11-13]。

在本次提取的均方根振幅属性、最大振幅属性和弧长振幅属性等多种属性中,选取与馆上段四砂组砂岩厚度相关性较好的地震属性—瞬时振幅作为研究区四砂组上段敏感参数。瞬时振幅与砂岩厚度相关性在0.9以上,能很好地反映砂岩厚度的变化。

利用分频处理后的瞬时振幅,四砂组上砂岩综合预测精度达到90%(表1)。利用叠前近道集叠加分频数据敏感属性预测精度比常规数据、常规属性预测精度平均提高26%。根据分频重构结果,对研究区馆上段四砂组上段多河道叠加模式基于瞬时振幅属性进行单一地层切片分析。

表1 四砂组上瞬时振幅与砂岩厚度统计

井名	砂体厚度 /m	瞬时 振幅	预测厚度 /m	精度 /小数	平均精度 /小数
KD421	8.50	155.4	9.325 580	0.902 873	
KD42	6.00	125.9	5.828 414	0.971 402	
KDG2	1.50	89.6	1.525 120	0.983 253	
KD85	2.00	86.5	1.157 621	0.578 811	
KD891	24.00	269.4	22.840 060	0.951 669	
KD88	11.5	198.9	14.482 420	0.740 659	
KD82	1.50	89.6	1.525 120	0.983 253	
KD881	8.00	159.8	9.847 192	0.769 101	
KD89	13.00	186.4	13.000 570	0.999 956	
KD894	10.90	168.3	10.854 850	0.995 858	0.900 193
KD87	3.50	107.2	3.611 566	0.968 124	
KD102	3.00	98.8	2.615 762	0.871 921	
KD103	16.00	201.3	14.766 930	0.922 933	
KD104	18.00	241.0	19.473 290	0.918 150	
KD105C	12.5	183.3	12.633 070	0.989 354	
KD107	6.00	136.0	7.025 749	0.829 042	
KD109	3.50	103.3	3.149 228	0.899 780	
KD303	9.50	161.2	10.013 160	0.945 983	
KD894C	18.97	217.8	16.722 980	0.881 549	

在四砂组上段底部地层切片中,研究区河道走向整体以北西西向为主,工区北部发育支流河道。砂岩可能集中发育于KD42、KD421以东的位置,

KD891井附近储层发育较好,井间对比显示,匹配较为一致(图4)。

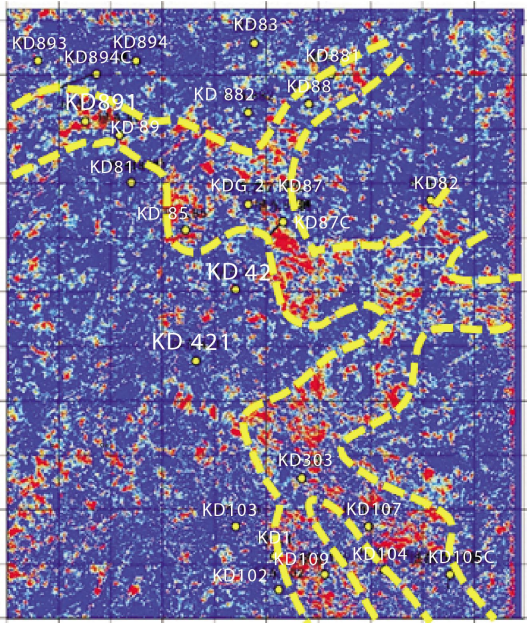


图4 瞬时振幅属性切片一

在四砂组上段下部地层切片中,河道方向以北西向为主,工区东部、北部发育多条支流,预测KD421井、KD42井以东及KD87井南部砂岩厚度可能较大,此外KD88井、KD881井附近也可能有较厚砂岩发育(图5)。

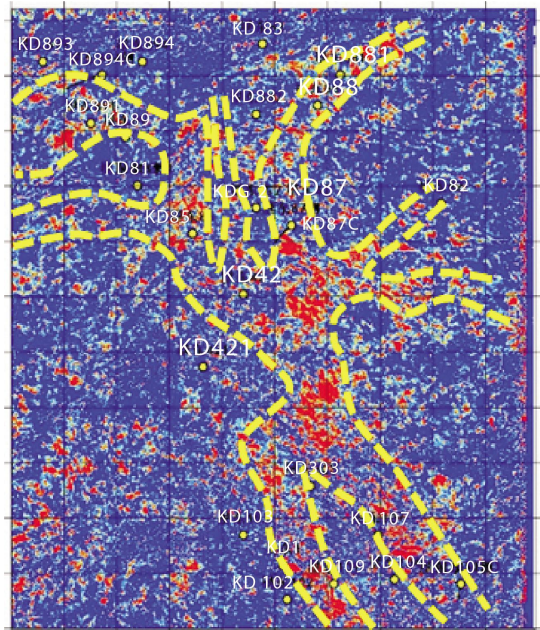


图5 瞬时振幅属性切片二

四砂组上段中部地层切片与底部地层切片对比,中部开阔型复合河道范围有所扩大,河道方向整体以北西向为主,工区东部、西部发育近东西向支流,工区北部发育多条南北向支流,预测KD421

井、KD42井附近及以东地区、KD85井以西地区砂岩厚度可能较大,此外KD88井北部也可能有较厚砂岩发育(图6)。

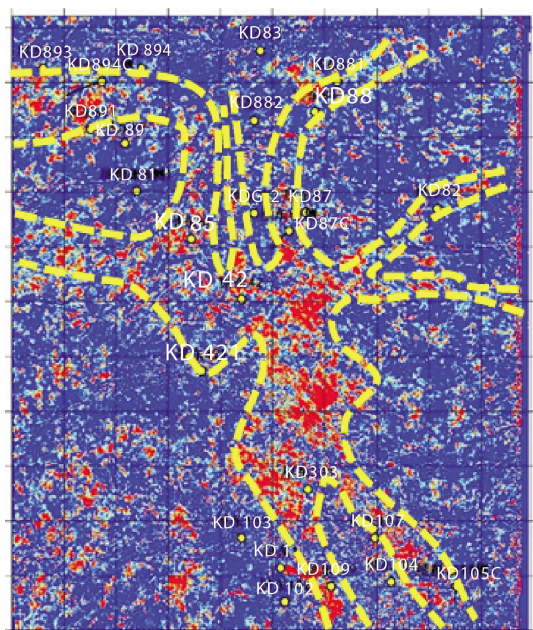


图6 瞬时振幅属性切片三

在四砂组上段上部地层切片中,中部及西北部地区复合河道范围有所扩大,河道方向整体以北西向为主,工区东部、西部发育近东西向支流数量减少,工区北部发育多条支流减弱,预测KD421井、KD42井附近及以东地区、KD85井以西地区砂岩厚度可能较大,此外KD82井东北部也可能有较厚砂岩发育(图7)。

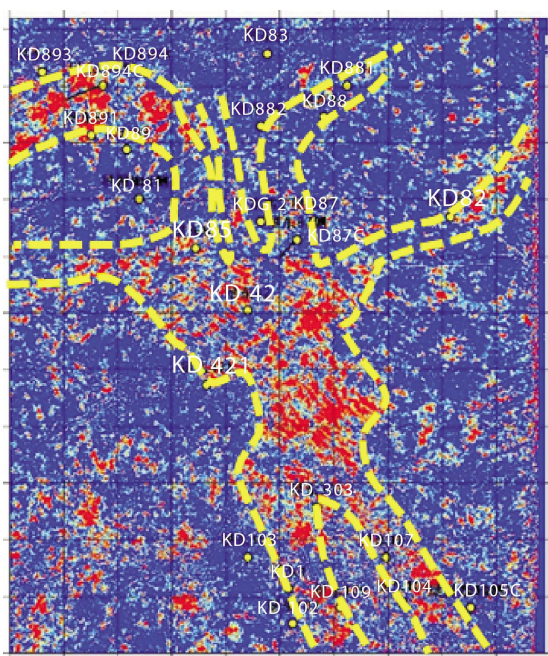


图7 瞬时振幅属性切片四

在四砂组上段顶部地层切片中,中部复合河道范围减小,西北部地区复合河道范围有所扩大,河道方向整体以北西向为主,工区东部、西部发育近东西向支流数量减少,基本不发育支流,预测KD421井、KD42井附近及以东地区、KD85井以西地区砂岩厚度可能较大,此外KD82井东北部也可能有较厚砂岩发育(图8)。

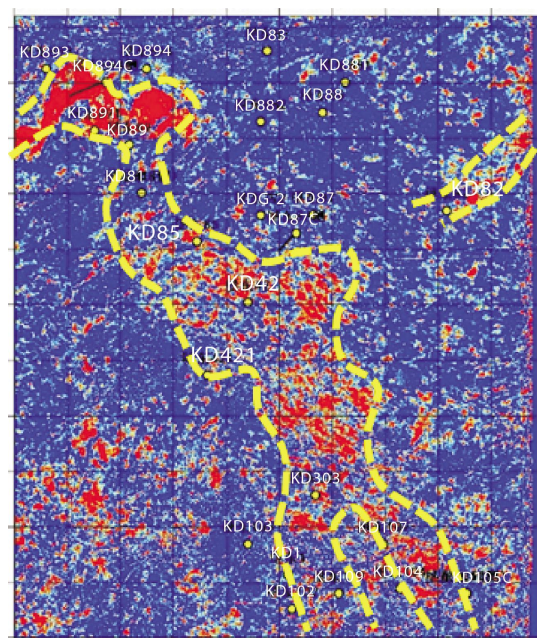


图8 瞬时振幅属性切片五

单从各个单一地层切片得到的信息分析河道分布存在局限性,因此,本文采用多切片乘积法与多切片最大值法对四砂组上部所计算的五张瞬时振幅属性地层切片进行融合,使得五张切片的同一性得到加强,差异性得以区分,进一步确定砂体的平面展布特征。融合后发现河道特征清晰,各支流可以清楚展示,砂体分布范围与瞬时振幅属性所刻画的河道分布相似。

2.4 地震属性提取落实砂体厚度分布

振幅属性的物理特征是储层流体变化、岩性和孔隙度变化以及河道砂体、三角洲砂体、不整合面、地层调谐效应、地层层序变化等因素的综合反映^[9,14]。对研究区Ngs4上部提取瞬时振幅属性,发现高值主要出现在南部、中部及北部地区,高值出现与井上砂岩厚度对应较好,并且刻画出的砂体展布特征与地质认识相吻合。

3 结论

本文根据垦东北部馆上段河流相储集层的特点、实际资料,利用地震、测井资料,对四砂组内部

旋回砂体发育特点进行总结,进而确定河道砂体发育模式,提出三种河道模式:单一河道模式、双河道

叠置模式以及多河道叠置模式,其中多河道叠置模式是薄层储层描述的重点问题(图9)。

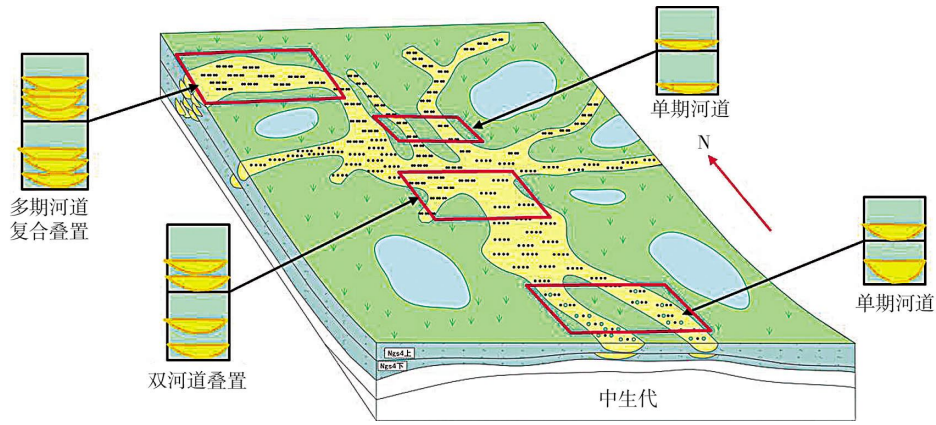


图9 四砂组河流相砂体发育地质模型

为描述多河道叠置储层,首先,通过近道集叠加提高分辨率,其次,利用分频刻画河道边界和利用单一切片和切片融合描述多期河道展布,最后,通过瞬时振幅属性预测砂体厚度。通过以上方法,得到的结果与井上砂岩厚度对应较好,并且刻画出的砂体展布特征与地质认识相吻合,也可以比较直观地看出研究区多期河道叠置分布特点,进而得到储层发育有利区带分布,为下步挖潜勘探提供方向。

参考文献:

[1] 黄真萍,王晓华,王云专.薄层地震属性参数分析和厚度预测[J].石油物探,1997,36(3):28-38.

[2] 柏冠军,吴汉宁,赵希刚,等.地震资料预测薄层厚度方法研究与应用[J].地球物理学进展,2006,21(2):554-558.

[3] 袁静,鹿洪友,高喜龙,等.胜利油区新北油田馆上段沉积特征及沉积相模式[J].沉积学报,2009,27(1):18-24.

[4] 赵伦,王进财,陈礼,等.砂体叠置结构及构型特征对水驱规律的影响-以哈萨克斯坦南图尔盖盆地Kumkol油田为例[J].石油勘探与开发,2014,41(1):86-94.

[5] 刘丽.埕岛油田馆陶组曲流河砂体叠置模式[J].岩性油气藏,2019,31(1):40-48.

[6] 窦丽玮.河道砂体叠置模型正演研究[J].工程科技与产业发展,2016,18:82.

[7] 马世忠,何伟,王昭.基于地震分频技术的河道砂体精细刻画[J].黑龙江科技大学学报,2015,25(4):411-416.

[8] 刘霞.基于谱分解的岩性油气藏薄层识别技术研究[D].大庆:东北石油大学,2014.

[9] 曹卿荣,李佩,孙凯,等.应用地震属性分析技术刻画河道砂体[J].岩性油气藏,2007,19(2):93-96.

[10] 金振奎,时晓章,何苗.单河道砂体的识别方法[J].新疆石油地质,2010,31(6):572-575.

[11] 赵天琦,丛琳,娄娜,等.地层切片结合相干技术在砂体刻画中的应用[J].中州煤炭,2016,8:154-157.

[12] 陈文浩,王志章,侯加根,等.地层切片技术在沉积相研究中的应用探讨[J].石油地球物理勘探,2015,50(5):1007-1015.

[13] 钱荣钧.对地震切片解释中一些问题的分析[J].石油地球物理勘探,2007,42(4):482-487.

[14] 徐伟慕,郭平,胡天跃.薄互层调谐与分辨率分析[J].石油地球物理勘探,2013,48(5):750-759.

(编辑 杨芝文)