

地震砂体刻画技术在鄂尔多斯盆地 宁东 26 井区储层预测中的应用

刘 炬¹, 齐 颖²

(1 中国石油化工股份有限公司华北油气分公司采油气工程服务中心研究所, 陕西咸阳 712000;

2 中石化华北油气分公司勘探开发研究院, 郑州 450006)

摘 要:利用宁东 26 井区延安组油层组不同厚度砂体在地震剖面上的反射波形结构特征差异, 根据有利储集砂体的地震反射波形结构特征, 在地震剖面上从已知井点出发向外横向追踪, 定性地刻画出主砂体的空间展布特征; 同时, 采用地质统计学随机岩性反演技术对储集砂体进行定量预测, 其定性、定量预测的结果相吻合, 从而精确地刻画出砂体的空间展布特征, 在预测的有利砂体范围内部署的井位, 均获得高产工业油流。

关键词:反射波形结构; 岩性反演; 砂体刻画

中图分类号: P618.21; TE122.2

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2016.06010

1 区域概况

位于鄂尔多斯盆地天环向斜向西缘逆冲带转化过渡带的麻黄山区块, 在燕山运动中期受到强烈的挤压和剪切, 形成了冲断构造的基本面貌, 断裂与局部背斜和断鼻构造发育, 并成排成带分布, 形成有力的油气聚集带。麻黄山西区块宁东 26 井区是中石化华北分公司主要的石油勘探区块之一, 在侏罗系延安组和三叠系延长组均已获得工业油流。

受燕山运动的强烈挤压和剪切作用改造, 区块西部断裂发育, 油气储集以构造圈闭为主, 由断裂牵引作用产生的背斜、断背斜及断块, 是最有利的油气储集场所。在东部稳定区, 以构造—岩性圈闭为主, 其中低幅度构造圈闭与河道砂体发育

相匹配的部位是油气储集的有利场所。

宁东 26 井区构造位于鄂尔多斯盆地天环向斜中段的西部麻黄山西圈弯子凸起带关家沟构造, 圈闭面积较小, 主要产油层位为延安组延 52 亚组河道砂体油层, 属于岩性油气藏的范畴。为了扩大宁东 26 井区延 52 储层的含油面积, 在研究了不同厚度砂体反射波形结构特征差异的基础上, 通过已知井的分析, 总结出该层段主河道砂体的地震反射波形结构模式, 为该区延安组砂岩储层的定性预测奠定了地震技术基础, 并根据总结出的有利反射波形结构模式, 在地震剖面进行横向追踪预测, 定性预测出延 52 亚组砂体的空间展布特征, 同时利用地质统计学随机模拟岩性反演技术定量预测了砂岩储集体的空间展布特征。

2 延 52 储层岩性、物性特征及油藏特点

2.1 延 52 储层的物性特征

延安组沉积发育于晚三叠系印支运动之后的盆地稳定沉降期, 主要发育河道沉积、河道砂坝沉

收稿日期: 2015-12-23

基金项目: 中石化项目“鄂尔多斯盆地碎屑岩层系大中型气油田富集规律与勘探方向”(20112X05002-001)

作者简介: 刘 炬(1966—), 男, 工程师, 主要从事石油地震资料解释与储层预测工作。E-mail: 406103257@qq.com

积、决口扇,泛滥平原及沼泽等沉积微相。

延 52 主要储层砂体为陆源碎屑砂岩,主要由沉积环境和成岩作用控制,砂体非均质性强(夹有泥岩或致密层),厚度不等。沉积环境不仅控制该井区砂体的展布,同时也是储层孔隙度和渗透率两大物性的主要控制因素^[1]。根据大量的岩心分析和岩石薄片观察,延 52 储层岩性主要以长石砂岩为主,粒度以细粒为主,中粒次之,粒度自下往上有变细的趋势。砂岩成分成熟度低为主,结构成熟度高为主,主要的成岩作用有压实作用、压溶作用、胶结作用、溶蚀作用和次生加大作用;地层物性较好,砂体孔隙度主要分布在 10%~15%之间,平均孔隙度为 13.8%,最低值为 8.8%,最高值为 14.8%;渗透率分布在 $(0.1 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,平均渗透率为 $1.74 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最低渗透率为 $0.17 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最高渗透率为 $5.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2.2 延 52 储层的油藏特点

该油田延安组油气富集主要受构造和岩性控制,为构造—岩性油气藏,构造高部位油气富集程度高;受构造圈闭和岩性圈闭双重控制(图 1);层间小断层发育,局部发育跨层位断层,断裂系统对油气沟通起重要作用,但主要为间接沟通作用;其特点为油藏范围较小且分散,储层较薄^[2]。

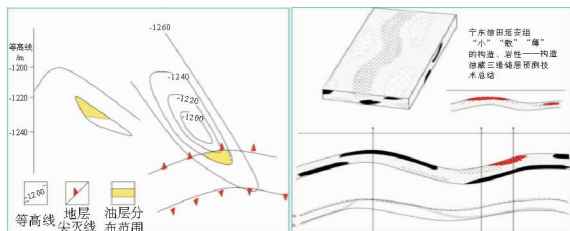


图 1 延安组的构造及沉积模式

Fig. 1 The tectonic and sedimentary patterns of Yanan Group

3 延安组延 52 砂体刻画技术

3.1 基于地震反射波形结构特征属性的储层定性预测

(1) 地震反射波形结构特征属性技术

地震记录中包含着储层、非储层以及流体等各方面的信息。当储层与围岩的岩性、物性、流体性质等存在差异时,地震波穿过储层后,其参数会

发生变化而呈现出不同的响应特征。通常的地震属性只能表征地震信号的某几个物理参数(如极性、吸收衰减、极化特点、连续性等),但却不能单独描述地震反射波信号的总体异常。地震反射波信号的总体异常与其的波形结构有非常密切的联系。地震记录的总信息量至少包含波形数值和波形结构 2 个方面的内容。因波形结构较为稳定,所以可以较好地用来反映储层特征的变化^[3]。地震反射波形结构在时空上的变化特征,对于反映不同地震反射界面之间连续的地层信息有较好效果,因此,有必要利用地震波形结构特征方法对地震波在时空上的变化过程及其特征进行研究。该方法的优势是,对地震反射波信号没有太多的限制,并且有较广的应用范围,在地震勘探和开发的每个阶段都可进行应用。

地震反射波的所有物理参数的变化都是与地震反射波的形状变化相对应的,地质体的厚度、分布范围、内部结构、物性、含油气性等变化会影响到地震波的变化,也必将在地震波形的结构特征上有所反映^[4]。

正是基于储层和非储层在地震波形结构特征上存在一定的差异,我们就是利用这种差异来预测宁东 26 井区油田延安组延 52 亚组储层的。

针对宁东 26 井区延安组延 52 储层,以前的研究主要开展了频率域、时频域、叠前属性、叠后属性研究,由于延安组煤层较为发育,对提取的这些属性影响较大,也就是说提取的地震属性大部分表征的都是煤层反射的信息,储层的有效信息都被淹没在其中;但没有尝试过从波形结构方面进行研究,而波形结构特征是所有地震属性中最基本的特征,因此,有必要着手从波形结构方面进行储层预测。

从“已知”到“未知”,是进行地震资料储层预测的基本思路 and 过程。因此,结合已知地质及钻井信息建立已知信息库,作为进行储层预测的基本依据具有重要意义。进行地震波形结构特征分析及储层预测,首先根据研究区井点处地震反射波形的统计结果建立并总结不同厚度储层的地震响应特征,采用最为简单而最有效的“相面类比法”在地震剖面上勾画出不同厚度储层的分布区带,从而可以实现由“已知”到“未知”的地震资料定性储层预测工作^[5]。

(2) 利用地震反射波形结构特征属性技术定性预测延52储层

针对延52亚组油藏的特点,河道砂体的刻画主要是从钻探油气显示较好的、砂体发育厚度大的已知井点出发,在高分辨拓频地震数据体上,追踪厚度较大的砂体的有利反射波形结构,来预测主砂体的空间展布特征。

首先对井区所有已完成的钻井测井资料进行精细合成记录制作,通过合成记录准确标定出延52亚组储层在地震剖面上的位置,然后在地震剖面上解释出延52亚组储层的顶、底界面,着重研究延52亚组储层的顶、底界面之间的地震反射波形结构特征变化。井区X1井延安组延52油层组砂体砂体厚度为18.3 m,油浸显示8.6 m(图2),油斑2.6 m,通过合成记录(图3)的标定,砂体在地震剖面上对应一个完整的波谷形态。

X1井、X2井、X3井都是钻遇延52亚组砂岩油层的钻井,X1井钻遇砂体厚度为18 m;X2井钻遇砂体厚度较薄,厚度为3.5 m;X3井没有钻

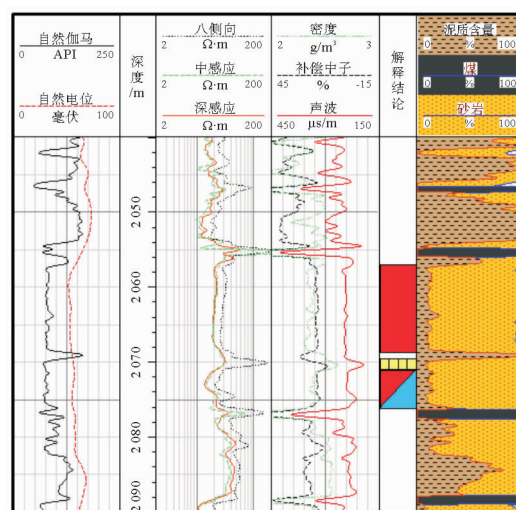


图2 X1井综合测井解释

Fig. 2 The integrated logging curves of Well X1

遇到砂体,图4为过X1井、X2井、X3井的地震剖面,不难发现,不同厚度砂体的波形结构特征有着明显的差异,厚度大的砂体在地震剖面上对应波形为一完整的宽缓的波谷形态,波谷极值居中;厚

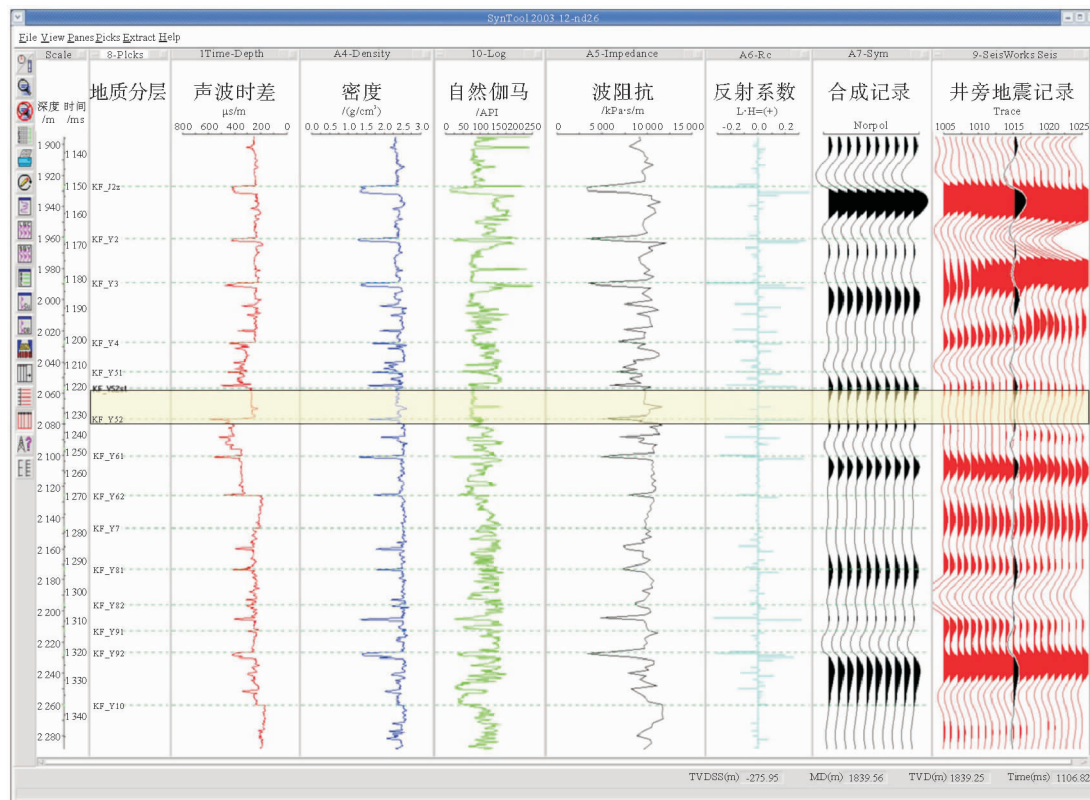


图3 X1井合成记录

Fig. 3 The integrated log of Well X1

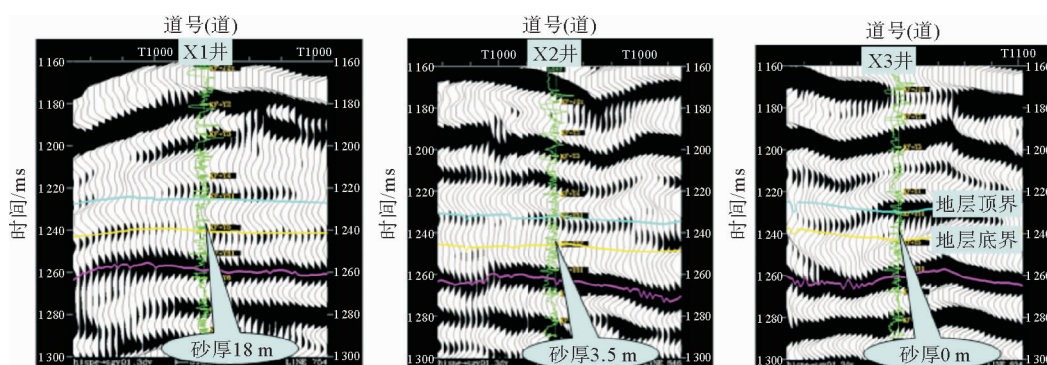


图 4 不同厚度砂体的地震响应特征

Fig. 4 Seismic response features from the sand bodies with different thicknesses

度薄的砂体在地震剖面上对应波形为一不完整的半个波谷+波峰形态,波谷极值偏下;砂体不发育在地震剖面上对应波形为半个波峰形态,通过检查区块内所有井在地震剖面的反射结构特征和钻遇延 52 油层组砂体厚度的对应关系,都完全符合这些地震反射波形结构特征。从录井显示、试油成果好的钻井中挑选出砂岩发育厚度大的井,根据不同厚度砂体对应的反射波形结构特征的差异,根据厚度大的砂体对应地震剖面上波形结构为完整的波谷形态这一特征,从挑选出的已知井出发向外逐道追踪延 52 亚组顶、底界面之间具有完整波谷形态的地震道,这样就可追踪出该油层组主砂体的平面展布范围。

3.2 利用岩性反演技术的储层定量预测

(1) 延 52 油层组的岩石物理特征

岩石物理分析是联系地质参数(岩性、物性、

流体饱和度等)和地球物理参数(纵横波速度、密度、波阻抗等)的纽带与桥梁,也是地震地质综合研究的基础。通过岩石物理分析,必须搞清楚哪些地层岩性参数能够把储层和围岩区分开来,哪些岩性参数不能将储层和围岩区分开来,寻找能够区分储层和围岩的敏感岩性参数是岩石物理特征分析的关键,也是储层岩性预测的基础^[6]。

在对宁东 26 井区延 52 储层进行定量预测之前首先要对延 52 储层及其上、下围岩的岩石物理特征进行分析研究,寻找出能够区分延 52 储层及其上、下围岩较敏感的岩性测井参数。通过对延 52 油层组的砂岩、泥岩波阻抗、自然伽马、中子孔隙度等地球物理参数变化情况及相互之间进行交汇、统计分析,见图 5、6 所示。

可以看出,砂岩的波阻抗变化范围在 9 000~14 000,自然伽马的变化范围在 70~105,中子孔隙度的变化范围在 9%~21%;泥岩的波阻抗变

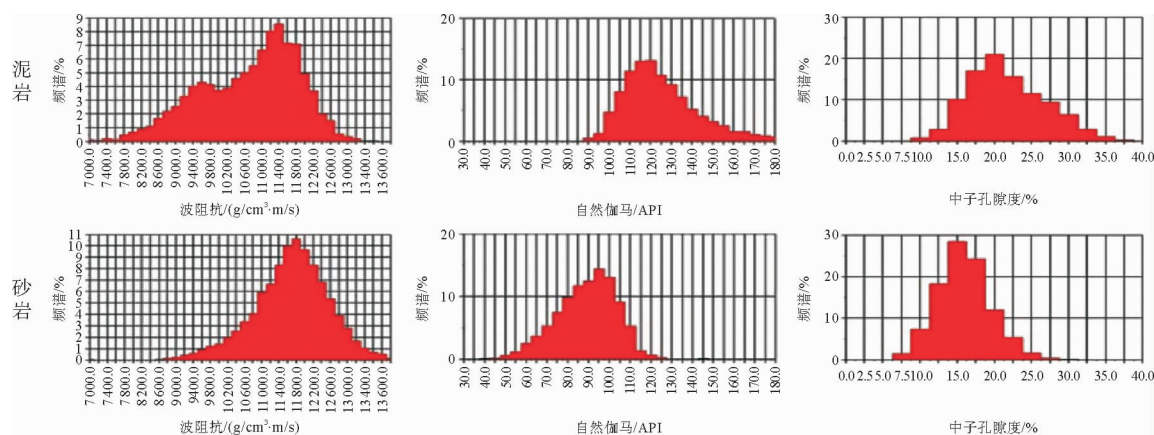


图 5 延 52 地层砂岩、泥岩波阻抗、自然伽马、中子孔隙度分布

Fig. 5 Distribution of sandstone, wave impedance of mudstone, CGR, and AIPN of the Yan52 Formation

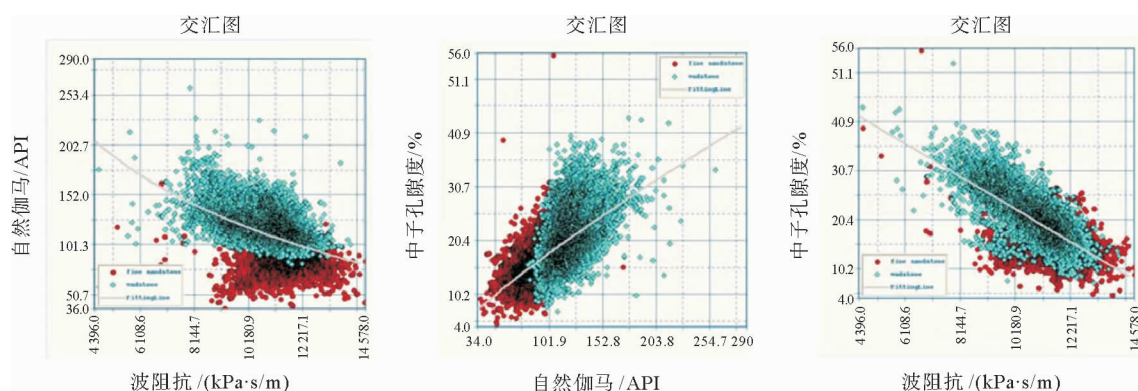


图 6 目的层段波阻抗、自然伽马、中子孔隙度之间的交会图

Fig. 6 Crossplot of wave impedance, GR, and CNL for target layer

化范围在 7 800~12 600, 自然伽马的变化范围在 105~150, 中子孔隙度的变化范围在 14%~32%。针对该油层组, 砂岩和泥岩的波阻抗重合部分较多, 由于地层含水导致砂岩中子孔隙度偏高, 砂岩中子孔隙度与泥岩中子孔隙度很大部分也是重合的, 利用波阻抗、中子孔隙度很难把泥岩和砂岩区分开来。砂岩和泥岩的自然伽马值分布范围可以分开, 也就是说自然伽马可以较好地地区分泥岩和砂岩, 自然伽马 95 以下为砂岩, 95 以上为泥岩。

(2) 储层横向定量预测

通过上面岩石物理分析可以得知, 目的层段储层和围岩地震波阻抗差异微弱, 应用狭义的地震反演方法(波阻抗反演)很难有效识别, 为此需要借助储层地震反演方法、综合测井、地震数据对储层进行预测和描述。出于此目的采用的反演方法主要是基于地质统计学的地震随机模拟反演方法^[7]。反演流程如图 7 所示。

地质统计学随机反演技术优点在于改善常规反演结果的分辨率, 在保持横向分辨率的基础上提高纵向分辨率, 对薄层分辨率高, 井间结果与井点处精度同样较高; 可以有多个结果、多个实现进行优化组合, 能够生成高分辨率的三维属性体, 如自然伽马概率体。地质统计学反演预测的技术关键是岩性比例、纵向变差函数和横向变差函数等统计学参数的选取, 它们很难直接从测井资料和地震资料上直接判断, 要通过地球物理统计分析与确定性反演成果的对比以及地质认识来综合优化选取, 以及经过无井、抽井等上百次的模拟实验来进行优化确定最终的反演参数。针对该研究区

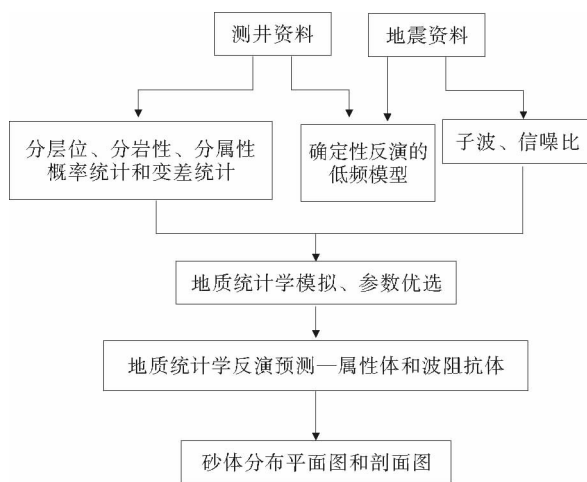


图 7 地质统计学反演技术流程

Fig. 7 The flow chart of the inversion techniques of geostatistics

的情况, 优选出的 20 口井参与反演约束, 剩下的井作为“盲井”对模型的预测性进行检查。地质统计学反演结果得到纵向精度为 1 ms 的多个纵波阻抗和岩相实现, 形成具有地质意义的岩性数据体, 在自然伽马岩性反演体上, 黄红色代表砂体越发育, 井点处反演结果和测井解释成果完全吻合(图 8)。

在地质统计学反演的自然伽马岩性剖面上, 利用岩石物理分析的砂岩的自然伽马值<95, 将砂岩雕刻出来, 解释出目的层段砂岩的顶界面和底界面, 然后求出砂岩的厚度(图 9), 和地震反射波属性预测(图 10)的目的层砂岩展布基本吻合。

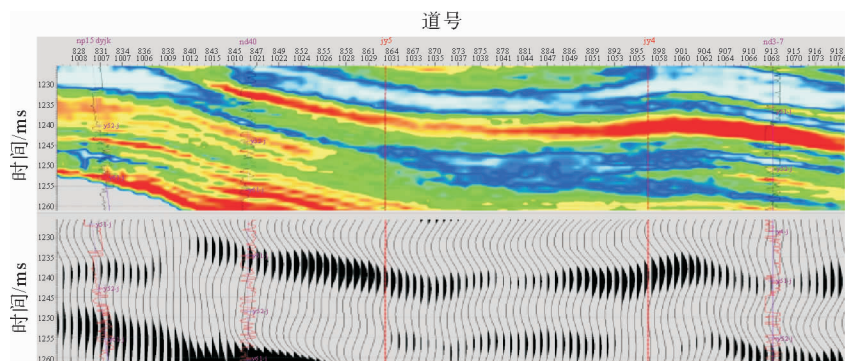


图 8 地质统计学反演的岩性反演剖面与地震剖面

Fig. 8 Lithological inversion section based on geological statistics and seismic section

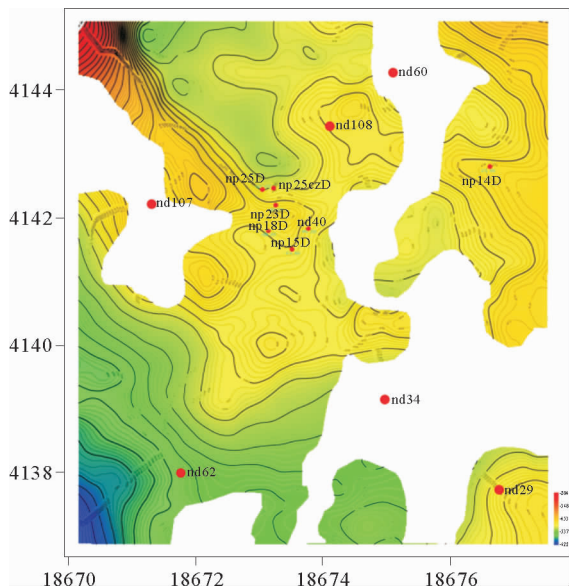


图 9 岩性反演预测的砂体展布

Fig. 9 Sand body distribution based on lithological inversion prediction

4 效果分析及结论

结合地震反射波形结构特征定性预测和地质统计学地震随机反演定量预测的砂体展布成果,在有利砂体分布范围内部署了 NP15、ND18

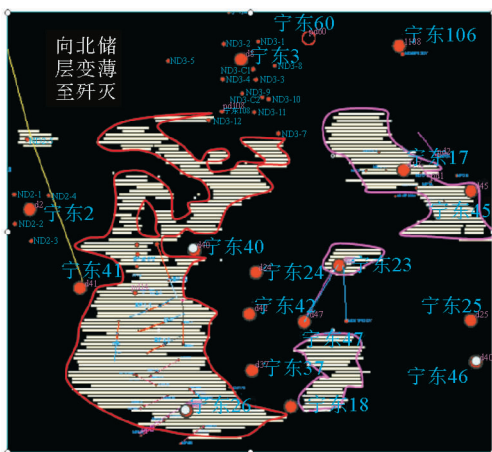


图 10 波形属性预测的砂体展布

Fig. 10 Sand body distribution based on waveform properties prediction

两口产能井,NP15 导眼钻遇砂厚 16.4 m,其中 14.56 m 为油斑显示;NP18 导眼钻遇砂厚 12.2 m,其中 9.7 m 为油斑显示,水平段钻遇效果较好,试油均取得了高产的工业油流,如图 11 和表 1 所示。证明在该地区利用地震反射波形结构特征定性预测和地质统计学岩性反演定量预测方法,综合预测延 52 储层的空间展布特征,是一种行之有效的办法。

表 1 NP15、NP18 水平段钻遇效果

Table 1 The results of horizontal drilling of NP15, NP18

井号	层位	实钻	砂岩	砂岩	油气显示						试油情况
		水平段长 /m	段长 /m	显示段 /m	油斑		油迹		荧光		日产油 /t
					长度	比例	长度	比例	长度	比例	
NP15	延	425	425	425	219	51.5	206	48.5			17.39
NP18	52	316	275	262	91	28.8	125	39.6	24	7.59	2.75

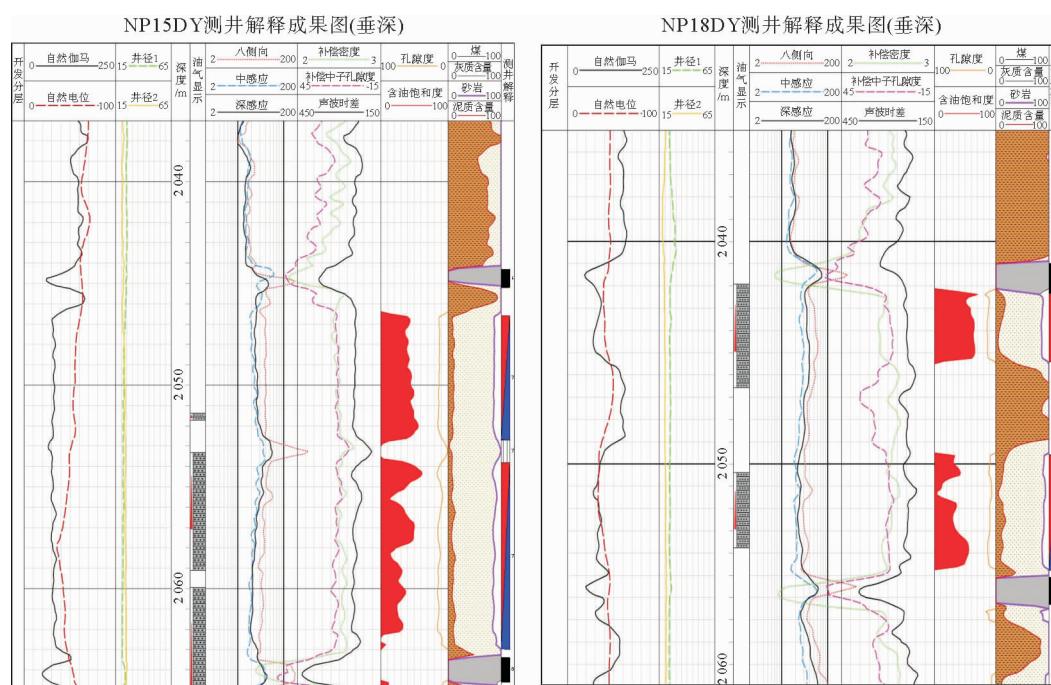


图 11 两口导眼井测井综合解释成果

Fig. 11 Comprehensive interpretation of logging from two Pilot Wells

参考文献:

- [1] 李松伟, 马贵锁, 魏东, 等. 鄂尔多斯盆地麻黄山西区延安组延8~10层沉积相分析[J]. 陕西地质, 2011, 29(2): 47-54.
- [2] 冉冉, 林正良, 等. 麻黄山油田侏罗系延安组主要油层储层特征研究[J]. 南方油气, 2006, 19(2/3): 38-42.
- [3] 高雪, 阎建国, 王立峰, 等. 地震波形结构分析技术在沉积微相识别中的应用——以海上某油田区块海底扇砂体为例[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2013, 10(8): 61-63.
- [4] 罗斌, 刘学伟, 尹军杰. 炮检距对地震分辨率影响的研究[J]. 石油物探, 2005, 44(1): 16-20.
- [5] 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.
- [6] 王炳章. 地震岩石物理基本准则[J]. 石油物探译丛, 2001(4): 1-20.
- [7] 王香文, 于常青, 董宁, 等. 储层综合预测技术在鄂尔多斯盆地定北区块的应用[J]. 石油物探, 2006, 45(3): 267-271.

APPLICATION OF SEISMIC SAND DEPICTION TECHNIQUE IN NINGDONG 26 AREA OF ORDOS BASIN

LIU Ju¹, QI Ying²

(1 The Geological Research Institute of Service Center of Oil and Gas of North China Branch of Sinopec, Xianyang 712000, Shanxi, China;

2 Research Institute of Exploration and Development for North China Branch of Sinopec, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: Qualitative and quantitative sand body prediction techniques are applied to the Yan 52 reservoir group at Ningdong Well 26 area. Using the seismic reflection patterns of the favorable sand bodies with various thickness and seismic characteristics, the spatial distribution pattern of sand bodies has been revealed. The results from geostatistics and random lithology inversion technique are fit well. High yield of industrial oil has been obtained from the reservoir depicted with the technique mentioned above.

Key words: reflection waveform structure; lithological inversion; sand body depiction