

渤海复杂薄互沉积储层地震定量预测方法及应用

—以垦利X油田沙河街组储层为例

朱建敏, 贾楠, 杨贯虹, 刘学, 穆朋飞

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459)

摘要: 垦利X油田沙河街组储层厚度薄, 单层厚度多数小于4 m, 砂泥互层结构明显, 受埋深影响, 地震资料分辨率低, 储层预测难度大。充分应用工区三维地震信息, 在精细层序格架约束下, 通过地层切片及属性提取与分析技术, 提取多种类地震属性, 在地质分析及井点信息约束下, 优选出最能反映沉积特征及储层分布的地震属性, 然后分析井点砂泥岩参数与地震属性的相关性, 建立储层参数与地震属性的关系对地震属性进行标定, 最终在沉积模式约束下, 实现基于地震属性分析技术的薄互沉积储层定量预测。

关键词: 地震属性分析 储层定量预测 沙河街组薄互型储层 渤海垦利油田

中图分类号: TE122 **文献标志码:** A

Quantitative seismic prediction method of complex thin reservoirs in the Bohai Sea: a case study of Shahejie Formation in Kenli X Oilfield

ZHU Jianmin, JIA Nan, YANG Guanhong, LIU Xue, MU Pengfei

(CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300459, China)

Abstract: For Shahejie Formation in Kenli X Oilfield, there are thin reservoirs, most of single layer thickness of less than 4 m, and obvious sand – shale interbeds. Affected by the buried depth, the resolution of seismic data is low. So it is difficult to predict reservoir. In this paper, 3D seismic information is fully utilized. Under the constraints of the fine sequence framework, the multi – types of seismic attributes are extracted by stratal slices. Under the constraints of geological analysis and well point information, it is optimized the right seismic attribute, which reflects sedimentary characteristics and reservoir distribution. And then it is analyzed the correlation between reservoir parameters and seismic attributes. Thus it is established the relationship between reservoir parameters and seismic attributes. Finally, under the constraint of sedimentary model, it is realized the quantitative prediction of complex thin reservoirs based on seismic attribute analysis technique.

Key words: seismic attribute; quantitative reservoir prediction; thin reservoir of Shahejie Formation; Bohai Kenli Oilfield

1 油田地质特征

1.1 油田概况

垦利X油田位于渤海南部莱州湾凹陷北部陡坡带, 依附于长期继承性活动的莱北一号大断层, 由上升盘的披覆半背斜和下降盘的断裂半背斜组成^[1-2] (图1)。垦利X油田含油层位多, 明化镇组、馆陶组、东营组及沙河街组均有油层钻遇, 其中沙河街组沙三段是主力含油层位^[3]。沙三段储层以辫

状河三角洲前缘沉积为主, 单砂层厚度薄, 多数小于4 m, 横向变化快, 砂泥互层结构明显。沙三段油藏埋深2 300 ~ 2 800 m, 受埋深影响, 地震资料分辨率低^[4], 仅有30 m左右, 单砂层储层预测难度大。

收稿日期: 2017-11-01; 改回日期: 2017-12-14。

第一作者简介: 朱建敏(1983—), 工程师, 硕士, 主要从事油气田开发研究。E-mail: zhujm3@cnooc.com.cn。

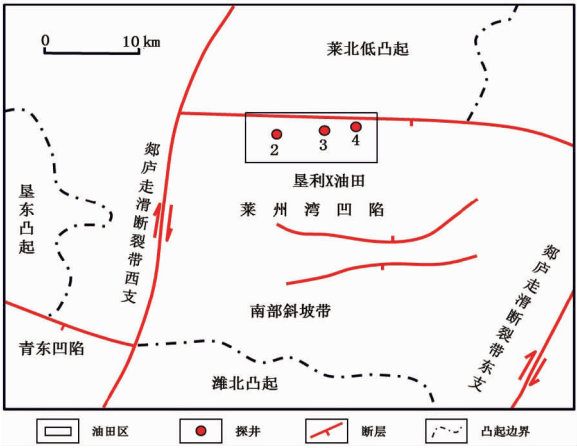


图 1 莱州湾凹陷垦利 X 油田区域位置

1.2 层序地层格架

根据层序地层划分对比的原则以及层序界面的

识别标志,综合考虑研究区的测井曲线及岩心特征^[5-7],将沙三段地层划分为 2 个三级层序,即沙三上三级层序、沙三中三级层序,分别对应沙三上亚段、沙三中亚段地层,将沙三上亚段划分为低位体系域、湖侵体系域、高位体系域 3 个体系域,将沙三中亚段整体划分为高位体系域。运用高分辨层序地层划分与对比方法,通过测井响应特征将沙三上亚段高位体系域划分为 3 个准层序组,沙三上亚段湖侵体系域划分为 4 个准层序组,沙三上亚段低位体系域划分为 3 个准层序组,沙三中亚段高位域地层划分为 6 个准层序组(图 2)。

精细的层序地层对比能为沉积相分析、井震标定、层位追踪、切片方案制定及属性提取工作提供坚实的依据。

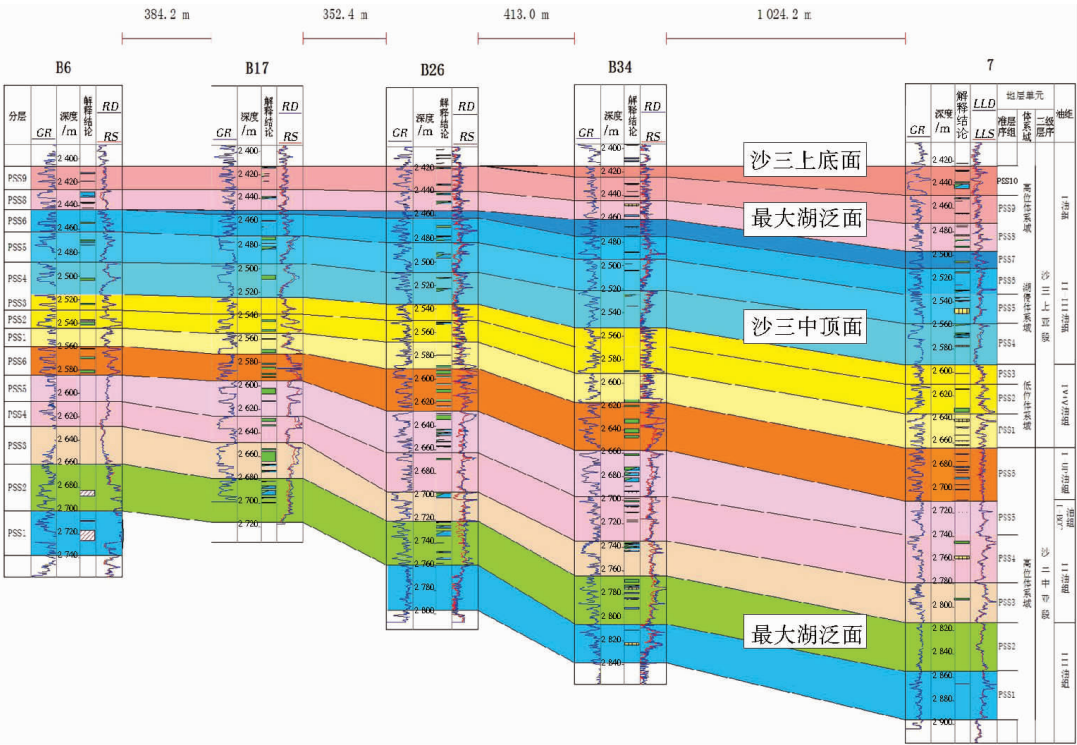


图 2 垦利 X 油田沙三段层序地层格架

2 地震属性提取及优选

地震切片技术在油气勘探中的作用愈来愈大^[8]。本文采用沿层切片方法:沿某一个没有极性变化的反射界面,即沿着或平行于追踪地震同相轴所得的层位进行切片,通常也把它称为“层拉平”切片。沿层切片更倾向于具有地球物理意义,但时窗与切片属性值有很大关系,一方面表现在时窗位置及大小的选取上,另一方面体现在属性本身特性上。运用沿层切片演化技术,不仅可刻画地层的沉积现

象,而且对古地貌的变迁可做有效恢复。在提取到多种属性后,应根据不同研究区域的地质特点^[9],选择最能表征储层特征的地震属性进行储层预测。

垦利 X 油田沙三段单砂体厚度薄,准层序组厚度相对大,更接近地震资料分辨率,以准层序组为研究尺度,寻找储层分布与地震资料响应的关系更合理。沙三上段湖侵域 PSS6 准层序组地层厚度 17 ~ 23 m,时窗范围 6 ~ 14 ms,主要发育辫状河三角洲沉积相,物源来自北部的莱北低凸起,主力优势微相为水下分流河道(图 3,4)。

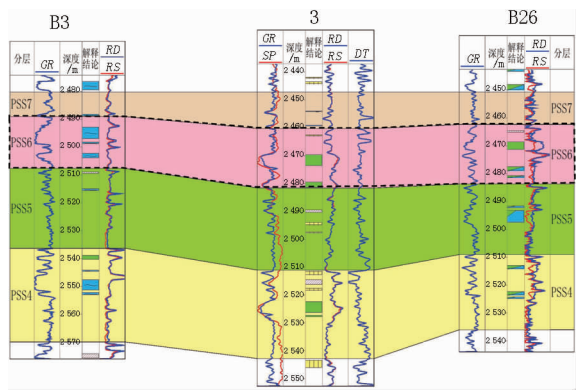


图 3 B3-3-B26 井沙三上亚段准层序组划分对比

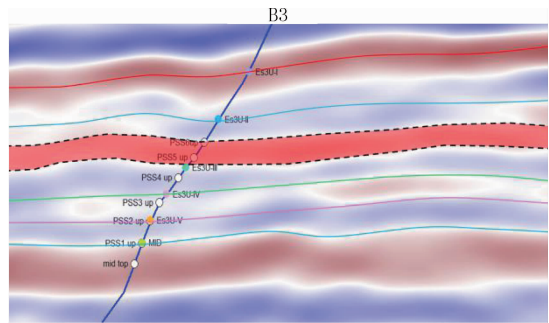


图 4 B3 井沙三上亚段准层序组井震标定剖面

对沙三上段湖侵域 PSS6 准层序组 3、4 井区分别提取了均方根振幅、原始振幅、主频和瞬时相位等地震属性(图 5)。从图中可以看出,这四种属性都能不同程度反映南北向发育的辫状河三角洲平面分

布范围。比较而言,原始振幅属性反映的辫状河三角洲朵叶体内部分流河道延伸方向和边界最为清晰,均方根振幅切片上也能分辨出分流河道的轮廓,但河道的边界及河道的形态稍差。

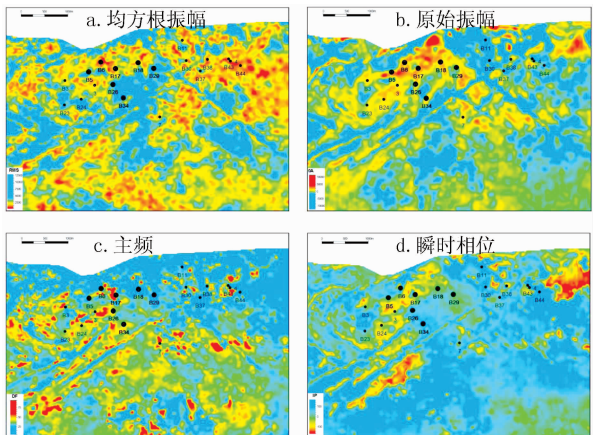


图 5 沙三上亚段 PSS6 地层切片地震属性对比

主频和瞬时相位反映的辫状河三角洲轮廓清晰,但水下分流河道的延伸范围及其边界不是很清晰。从 PSS6 准层序组原始振幅属性切片及顺物源砂体连通剖面可以看出 B17 井与 B26 井基本处于同一套河道砂体上(图 6),而 B5、B17、B18、B29 井处于不同的水下分流河道砂体上(图 7),井震匹配关系好,因此,本层位储层平面分布预测优选原始地震属性效果最佳。

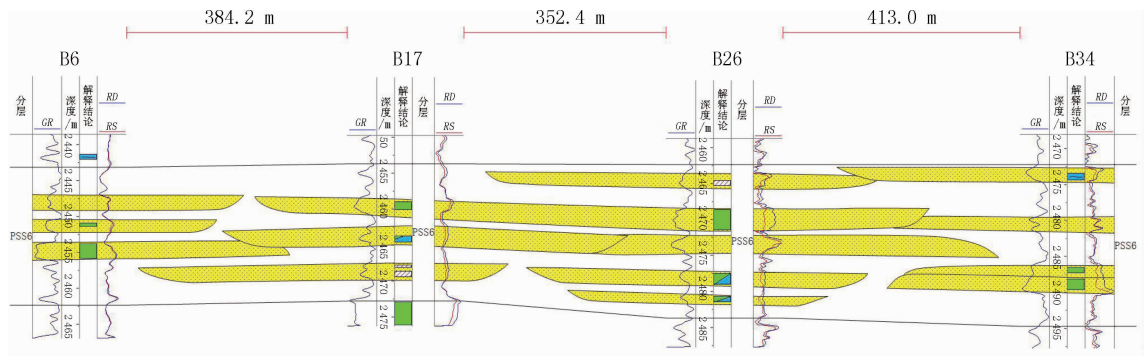


图 6 沙三上亚段 PSS6 顺物源砂体连通剖面

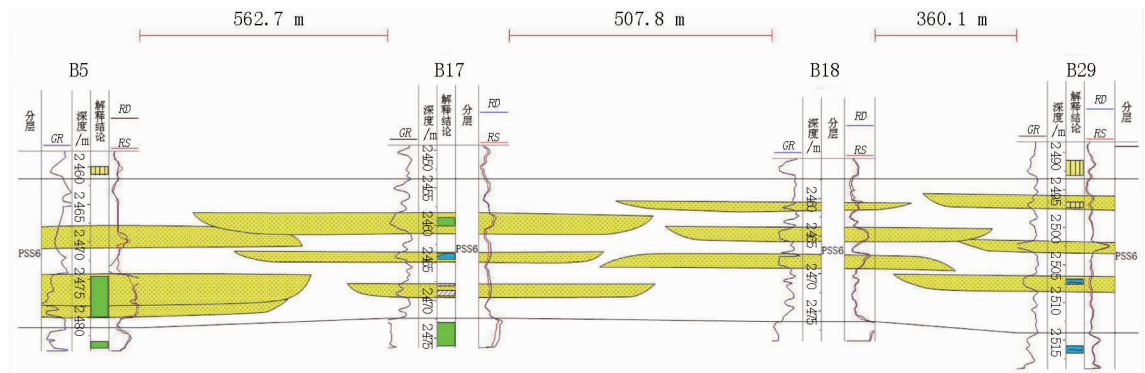


图 7 沙三上亚段 PSS6 垂物源砂体连通剖面

3 砂体定量预测

辫状河三角洲砂体分期次进积,自北向南展布的河道砂体在平面上不断分叉合并^[10]。沙三上 PSS6 段准层序组砂体受控于水道,河道砂体长轴方向与水流方向一致,近南北方向,呈扇体状发育,通过统计河道砂体规模宽 100~250 m 之间,平均河道宽约 150 m,砂体类型以河道型为主(图 8)。

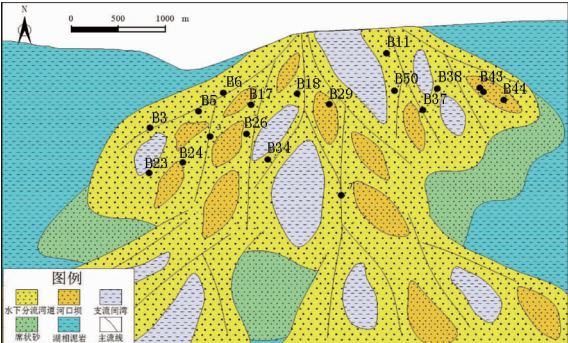


图 8 沙三上亚段 PSS6 沉积微相

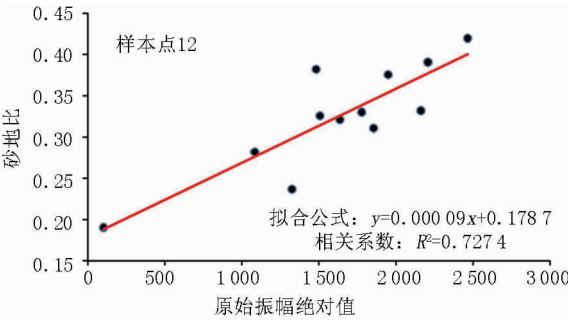


图 9 沙三上亚段 PSS6 原始振幅值与砂地比交会

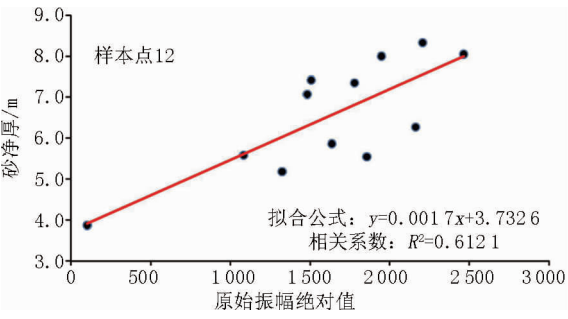


图 10 沙三上亚段 PSS6 原始振幅值与砂净厚交会

对 PSS6 准层序组 3 井区砂体净厚度及砂地比进行统计,砂体净厚度范围在 3.9~8.3 m,砂地比

值范围 0.19~0.42,选取 12 个样本点,绘制原始振幅属性值与砂地比及砂净厚的交会图,发现原始振幅属性值与砂地比及砂净厚均具有较好的线性相关性,线性拟合公式见图 9、图 10,通过所得公式,利用原始振幅属性值即可计算出砂地比(图 11)及砂体净厚度(图 12),从而实现未钻井区域砂体净厚度及砂地比预测。

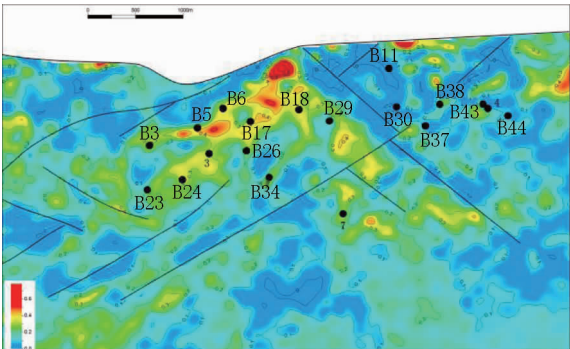


图 11 沙三上亚段 PSS6 砂地比平面分布

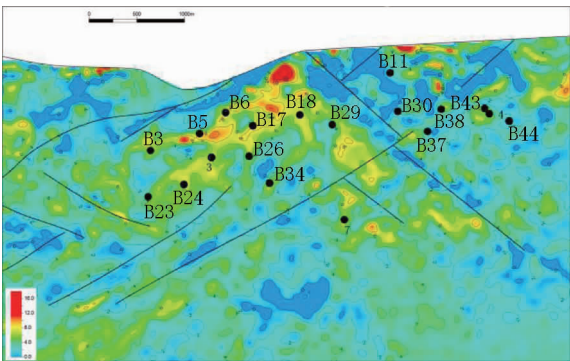


图 12 沙三上亚段 PSS6 砂净厚平面分布

如表 1、2 所示,对井上实钻砂净厚和原始振幅属性值预测计算得到的砂净厚进行误差分析,以 3 井区 12 口井为统计样本,绝对误差值在 -2.2~1.9 m 之间,绝对误差值平均为 1.1 m。相对误差在 -26%~33% 之间,相对误差平均为 17%。同理,对砂地比进行分析,砂地比绝对误差在 -0.09~0.06 之间,绝对误差值平均为 0.05,相对误差在 -24%~21%,相对误差平均为 15%。由此可见,用地震属性优选转换得到砂净厚和砂地比图可达到预测储层分布的效果,能够为海上不平衡井网储层预测及井位部署提供有力的依据。

表 1 沙三上亚段 PSS6 井实钻与预测砂体净厚度误差分析对比

井号	B6	B5	B3	B23	B24	3	B17	B26	B34	B18	B29	7	平均误差
实钻砂净厚/m	8.1	5.6	7.1	7.4	7.4	8.3	5.9	8	5.6	6.3	3.9	5.2	--
预测砂净厚/m	8	7.1	7.8	6.5	6.8	6.2	7.8	6.9	5.3	7.4	3	6.2	--
绝对误差/m	-0.1	1.6	0.8	-0.9	-0.6	-2.2	1.9	-1.1	-0.3	1.1	-0.9	1	1.1
相对误差/%	-1	29	11	-12	-8	-26	33	-14	-6	18	-22	20	17

表 2 沙三上亚段 PSS6 井实钻与预测砂地比误差分析对比

井号	B6	B5	B3	B23	B24	3	B17	B26	B34	B18	B29	7	平均误差
实钻砂地比	0.42	0.31	0.38	0.33	0.33	0.39	0.32	0.38	0.28	0.33	0.19	0.24	-
预测砂地比	0.38	0.33	0.3	0.28	0.32	0.31	0.38	0.29	0.25	0.36	0.15	0.29	-
绝对误差/m	-0.03	0.02	-0.08	-0.05	-0.01	-0.08	0.06	-0.09	-0.03	0.03	-0.04	0.05	0.05
相对误差/%	-8	7	-21	-15	-1	-21	18	-24	-10	10	-19	21	15

4 结论

(1)针对薄互沉积储层,以接近地震资料分辨率的准层序组为研究尺度,通过地层切片及属性提取技术提取了多种地震属性,结合沉积地质分析及实钻井信息,明确原始振幅属性反映的辫状河三角洲内部分流河道延伸方向和边界最为清晰,能够较好地反映储层的分布规律。

(2)原始振幅属性值与砂地比及砂净厚均具有较好的线性相关性,通过相关公式可将地震属性转换为砂地比及砂岩净厚度,通过误差分析,能够满足储层预测要求,为海上不均衡井网复杂薄互沉积储层预测及井位部署提供了有力依据。

参考文献:

[1] 曾选萍,代黎明,郑江峰. 地质-地震一体化中深层储层预测——以 KL10-1 构造为例[J]. 石油地质与工程,2010,24(5):37-42.

[2] 张建民,黄凯,廖新武,等. 渤海南部海域沙三中段进积体储层定量预测方法与应用[J]. 科学技术与工程,2015,15(17):131-136.

[3] 王少鹏,穆鹏飞,田晓平,等. 渤海 KL10 油田复式油藏滚动评价技术及应用效果[J]. 石油地质与工程,2015,29(3):77-80.

[4] 王建立,明君,张琳琳,等. 渤海油田古近系地震储层预测研究难点及对策[J]. 海洋石油,2014,34(4):44-48.

[5] 邓宏文,王红亮,祝永军,等. 高分辨率层序地层学原理及应用[M]. 北京:地质出版社,2002:3-22.

[6] 朱筱敏,董艳蕾,胡廷惠,等. 精细层序地层格架与地震沉积学研究——以泌阳凹陷核桃园组为例[J]. 石油与天然气地质,2011,32(4):615-624.

[7] 朱红涛,杨香华,周心怀,等. 基于层序地层学和地震沉积学的高精度三维沉积体系:以渤中凹陷西斜坡 BZ3-1 区块东营组为例[J]. 地球科学(中国地质大学学报),2011,36(6):1073-1084.

[8] 倪凤田. 基于地震属性分析的储层预测方法研究[D]. 青岛:中国石油大学(华东),2008:1-4.

[9] 白宝玲,赵洪洲. 地震多属性综合分析技术在储层预测中的应用[J]. 石油天然气学报,2010,32(1):248.

[10] 于兴河,王德发,郑茂俊,等. 辫状河三角洲砂体特征及砂体展布模型——内蒙古岱海湖现代三角洲沉积考察[J]. 石油学报,1994,15(1):26-37.

(编辑 杨芝文)

“单点高密度地震技术”为老区带来革命性影响

近日,中石化股份公司项目群“单点高密度地震技术研究与应用”顺利通过开题论证。该项研究拉开了胜利油田新一代地震勘探的帷幕,从此胜利油田迈进三次地震新时代。

近年来,随着老油区勘探难度逐年递增,现有的高精度地震技术已不能满足新形势下高效勘探的需求,高密度地震逐渐成为公认的地震技术发展方向。为突破现有技术框架,构建新一代适用于东部老区的高密度地震技术,满足勘探开发需求,胜利油田经过十余年的积极探索,在单点高密度地震实用化方面打下了坚实基础,积累了宝贵经验。他们提出以“全频带、宽方位、健全波场、单点接收”为特征的单点高密度地震概念,首次建立了高密度地震的技术指标,并在罗家地区部署了罗家-2017 三维地震采集项目,进行单点、小面元、宽(全)方位、高密度施工,将这一重大技术创新付诸实践。

下一步,研究人员将在高灵敏度单点检波器研制与工业化应用、高密度观测方式、施工组织与现场快速监控、海量宽频带数据全方位处理方法、多维数据解释方法等方面开展全方位攻关,真正实现单点高密度地震采集,从而大幅提高地震资料品质,实现单点高密度地震技术核心装备的突破,具备百万炮道密度级单点地震一体化服务能力,形成“单点高密度地震技术”品牌,为老油田高效勘探和效益开发带来革命性影响,引领中国石化物探技术的创新发展。

(油 科)