

引用格式:陈洪才,李朝瑞. 马家嘴油田戴南组薄砂岩储层地震预测技术[J]. 油气藏评价与开发, 2024, 14(1): 108-116.

CHEN Hongcai, LI Zhaorui. Seismic prediction technology for thin sandstone reservoir of Dainan Formation in Majiazui Oilfield[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2024, 14(1): 108-116.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2024.01.015

## 马家嘴油田戴南组薄砂岩储层地震预测技术

陈洪才,李朝瑞

(中国石化江苏油田分公司采油二厂,江苏 淮安 211600)

**摘要:**马家嘴油田戴南组断裂发育,油藏类型以构造-岩性油藏为主。储层具有纵向厚度薄、横向分布变化快的特点,对储层预测的精度要求较高,常规的地震反演方法难以满足需求。为解决此问题,采用了波形指示模拟方法对研究区薄储层进行预测,此方法以波形相控为指导,通过地震波形在横向上的变化代替变差函数,对目标参数进行模拟,从而得到更符合沉积地质规律的高精度反演结果。利用研究区内开发井多且密的优势,综合地质、地震和测井资料,优选对储层敏感的自然电位曲线进行波形指示模拟,对主力含油砂组展布进行预测;结合反演结果对参与运算井、后验井及过断层井进行分析,表明波形指示模拟具有较高的纵向和横向分辨率,能够较精细反映储层的空间变化;提取主要含油砂组平面展布图,与研究区的沉积规律相符,结合油层分布图对目标含油砂组分布进行了重新认识,认为马3断层下降盘向西具有滚动扩边潜力。

**关键词:**马家嘴油田; 断裂发育; 薄储层预测; 波形指示模拟; 滚动扩边

中图分类号:TE122

文献标识码:A

### Seismic prediction technology for thin sandstone reservoir of Dainan Formation in Majiazui Oilfield

CHEN Hongcai, LI Zhaorui

(The Second Oil Production Plant, Sinopec Jiangsu Oilfield Company, Huai'an, Jiangsu 211600, China)

**Abstract:** Dainan Formation in Majiazui Oilfield is characterized by developed fractures and is primarily composed of structural-lithologic reservoirs. The reservoirs exhibit thin vertical thickness and rapid lateral distribution changes, demanding high precision in reservoir prediction, which conventional seismic inversion methods struggle to meet. To address this challenge, the waveform indication simulation method was employed for thin reservoir prediction in the study area. This method, guided by waveform coherency, uses changes in seismic waveforms laterally instead of variogram functions to simulate target parameters, yielding high-precision inversion results that better conform to sedimentary and geological laws. Taking advantage of the dense and numerous development wells in the study area, and integrating geological, seismic, and well logging data, the spontaneous potential curve, which is sensitive to the reservoir, was selected for waveform indication simulation. This approach was used to predict the distribution of the main oil-bearing sand groups. The inversion results were analyzed in conjunction with the computation wells, check wells, and cross-fault wells, indicating that the waveform indication simulation has high vertical and lateral resolution. It can finely reflect the spatial variation of the reservoir. The main oil-bearing sand group's planar distribution was extracted and found to be consistent with the sedimentary patterns of the study area. Combined with the oil layer distribution map, the target oil-bearing sand group's distribution was re-evaluated, suggesting potential for rolling extension to the west beneath the Ma3 fault. This insight could guide further exploration and development strategies in the Majiazui Oilfield.

**Keywords:** Majiazui Oilfield; fracture development; thin reservoirs prediction; waveform indication simulation; rolling extension

收稿日期:2023-09-15。

**第一作者简介:**陈洪才(1975—),男,硕士,高级工程师,从事油气田开发方面的研究与管理工。地址:江苏省淮安市金湖县衡阳路189号江苏油田采油二厂,邮政编码:211600。E-mail:chenhc.jsyt@sinopec.com

**通信作者简介:**李朝瑞(1996—),男,硕士,助理工程师,从事滚动开发方面的研究工作。地址:江苏省淮安市金湖县衡阳路189号江苏油田采油二厂,邮政编码:211600。E-mail:licr\_l.jsyt@sinopec.com

**基金项目:**中国石化江苏油田分公司科技项目“黄珏、马家嘴地区储层综合评价及滚动潜力研究”(JS22016)。

马家嘴油田位于高邮凹陷,真武断裂带和汉留断裂带汇合处,区域以构造-岩性油藏及岩性油藏为主<sup>[1-3]</sup>。发源于菱塘桥低凸起的山地河流,经较远距离入湖形成具有较完整前积型特征的沉积体系<sup>[4]</sup>,由于距离物源区较远,且位于缓坡带,属于三角洲前缘末端相带,这导致发育砂岩薄(2~5 m)且平面变化快,多呈现被断层切割的“香肠状”形态,发育的多套砂组中,只有少数砂组存在油气显示,如戴二段五亚段③、⑤砂组和戴一段一亚段①砂组等,这些含油砂组虽薄,但连片含油,能够获得较好的产量,前期对单套砂组的平面展布研究主要通过已钻井来推测其分布,并未能够与地震反射建立有效联系。

由于噪音的存在,地震分辨率的极限只有波长的四分之一,而研究区地震资料主频多介于18~22 Hz,目标含油砂组小于地震纵向可分辨的极限,无法在地震剖面上直接进行分辨<sup>[5]</sup>。前人主要通过地震属性提取技术,基于井震结合的地震叠前、叠后反演技术等开展砂岩储层预测研究<sup>[6-10]</sup>,此类常规技术可以在一定程度实现岩性的预测,但分辨率仍无法满足研究区薄储层预测的需求;研究人员曾针对地震数据通过提频处理来反应薄层的地震反射特征,但提升分辨率的同时导致了噪声及假象增多;近年来,研究人员通过地质统计学反演获取了突破地震分辨率的反演结果,但同时出现严重依赖模型、随机性强等问题<sup>[11]</sup>,这些都制约了开发阶段含油薄砂岩的精细开发。为了解决此问题选取了地震波形指示反演方法(Seismic Motion Inversion,简称SMI)来进行薄储层预测,SMI方法是在地质统计学反演基础上进行改进发展而来的,前人在多地区的实践表明,此方法能有效提高反演分辨率,得到与敏感曲线相关且确定性强的反演结果,可较准确赋予地震数据地质意义,减少随机性<sup>[12-14]</sup>。前人在研究区对薄砂岩储层预测相关研究较少,通过薄层纵向上厚度或横向上分布变化对波形样式的影响,结合目标参数进行模拟,对马3、马31断块进行储层预测,为研究区井位部署提供了技术支撑。

## 1 研究区储层特征

### 1.1 地质特征

阜宁组为马家嘴地区的主要烃源岩层,戴南组为主要储集层,由于断裂的多期发育,储集层沉积特

征更为复杂。受南北向物源同时影响,戴南组沉积时期主要属于扇三角洲沉积和三角洲沉积,部分沉积时期由于受构造运动及古地理的影响,发生滑塌产生浊积砂体,厚薄存在变化<sup>[15]</sup>。戴南组地层发育较为齐全,前人结合沉积旋回和岩性特征,将戴南组地层自下而上分为戴南组一段和戴南组二段,结合泥岩隔层发育特征又对地层进行了细分,戴南组一段包括3个亚段,戴南组二段包括5个亚段<sup>[16]</sup>。

戴南组一段厚度多介于0~300 m,自下而上分为下部的浅灰色砂岩与灰色、暗棕色泥岩呈不等厚互层,以及上部的1—5层黑色、深灰色泥岩夹浅灰色砂岩,该地层泥岩段电阻率约为 $1 \Omega \cdot m$ ,电性特征突出且在全区稳定分布,称为“五高导”标志层<sup>[17]</sup>。戴南组二段地层厚度多介于100~500 m,为浅灰色砂岩、粉砂岩与棕色夹浅灰、灰黑色泥岩不等厚互层,纵向上具有明显的上红下黑的特点<sup>[18]</sup>。戴南组地层与下部的阜宁组地层为不整合接触,并在地域分布上具有西薄东厚的趋势<sup>[19-20]</sup>。其中,戴南组二段四、五亚段和戴南组一段为主要储层,也是主要含油层系,为砂、泥岩薄互层沉积,岩性致密,胶结程度中等,以碳酸盐岩为主要胶结物。马5-20井在戴南组二段五亚段钻遇3套含油薄砂组,有效厚度均在2 m左右,图1为其测井响应特征。

通过分析目的层段内储层特征,明确了储层预测的重点,优选敏感曲线对岩性进行识别,为反演方案的制定提供参考。图2中黄色为砂岩值域范围,黑色为泥岩值域范围,通过分析图中砂、泥岩值域分布可以看出声波时差(图2a)和电阻率(图2b)由于值域范围重叠较大,难以准确识别部分砂、泥岩;自然伽马(图2c)和自然电位(图2d)能够对研究区内砂、泥岩进行有效识别,且后者在值域上的重叠部分明显小于前者,故优选自然电位对研究区砂、泥岩进行识别。

### 1.2 地球物理响应特征

研究区戴南组反射特征清晰,层段地震频带介于6~70 Hz,主频约为22 Hz,目的层段纵向上可见多个强、弱振幅连续的地震波组,各波组对应的同相轴横向上波形特征也存在明显变化。

图3为1、2、3、5、8 m厚度的砂岩储层,结合研究区内地震资料选取了22 Hz雷克子波对不同厚度砂岩进行自激自收正演模拟,可以看到在此地震主频

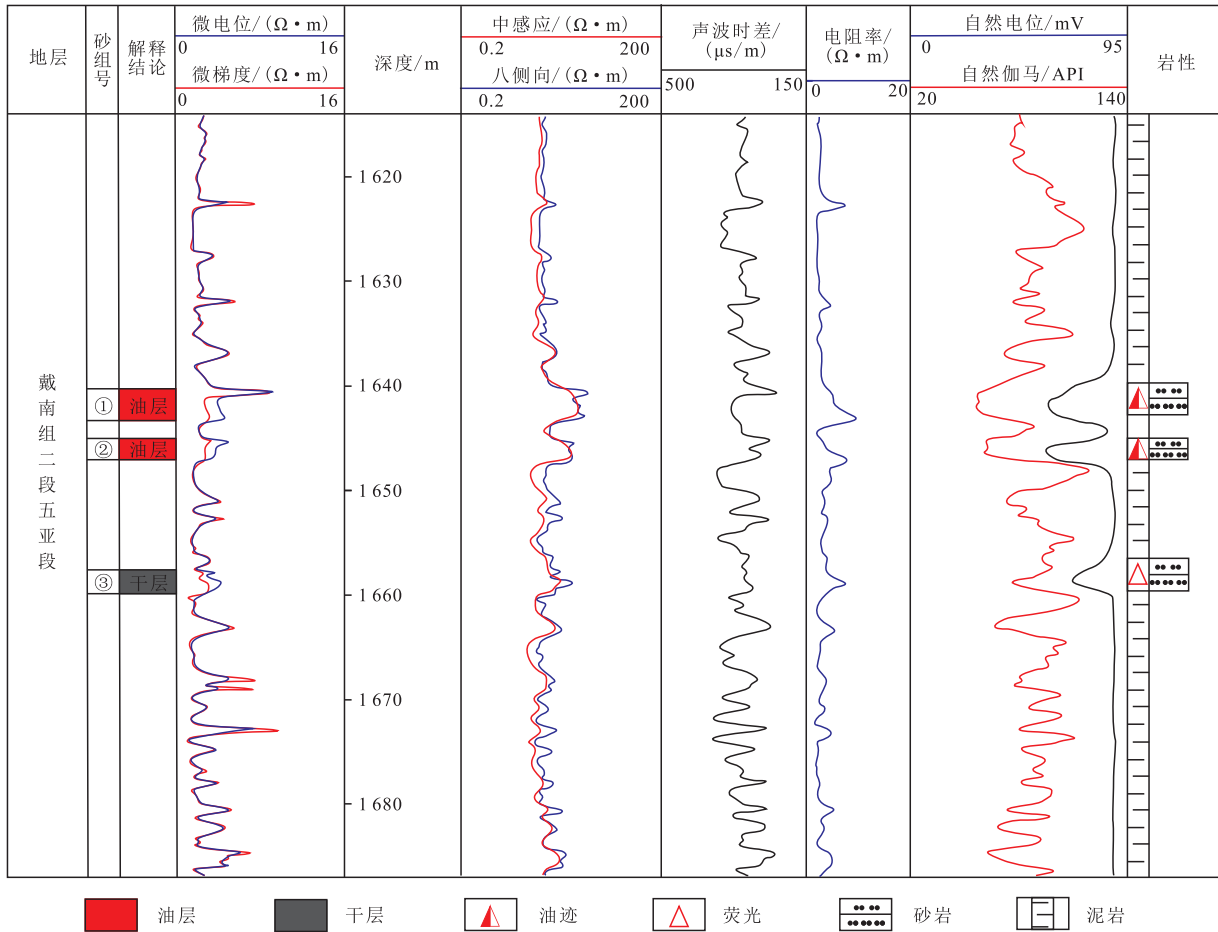


图1 马家嘴油田马5-20井戴南组薄砂岩测井响应特征

Fig. 1 Logging response characteristics of thin sandstone in Dainan Formation of well Ma5-20 in Majiazui Oilfield

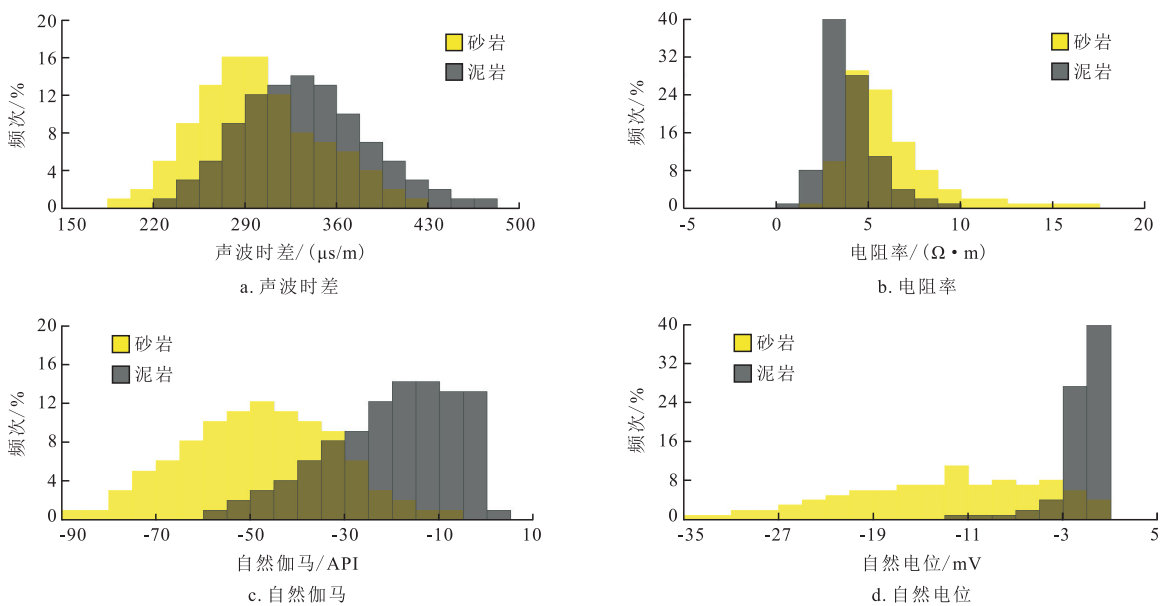


图2 砂、泥岩值域分布直方图

Fig. 2 Distribution histogram of sand and mudstone value ranges

下,纵向上难以描述单层薄砂岩的地震反射特征,但由于不同厚度砂、泥岩互层的调谐效应,地震剖面横向上振幅存在强弱变化,反映了薄砂岩在横向上存在变化。

时深标定能够建立深度域资料与时间域资料的

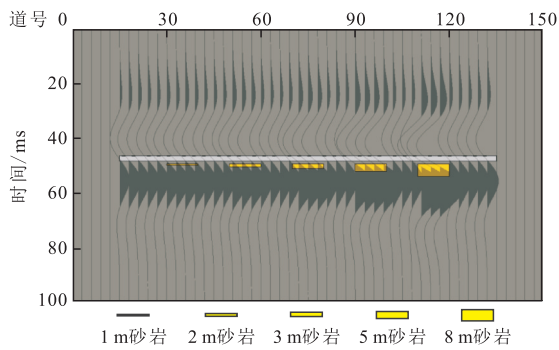


图3 砂岩储层正演模拟

Fig. 3 Forward modeling of sandstone reservoirs

关系,对反演结果存在直接影响,图4为结合测井声波时差及密度曲线的井震标定,以戴南组一段一亚段的①砂组顶作为标志层,结合砂岩敏感曲线和测井解释结论,进行储层的精细标定,来寻找储层对应的地震响应特征。单套薄砂组对应1个强轴的情况极其少见,地震资料只能满足勘探研究的需要,无法满足砂层组精细开发的需要,通过引入测井信息开展敏感参数的模拟,来提高分辨率,对薄储层进行预测。

结合研究区内地质、地震等多种资料,细化立体解释各断块多层系构造,最大程度落实构造,规避构造解释不合理对反演结果造成的不利影响。

## 2 波形指示模拟原理

波形指示模拟基于马尔科夫链蒙特卡洛随机模拟(MC-MC)算法,利用沉积学基本原理,优选样本的

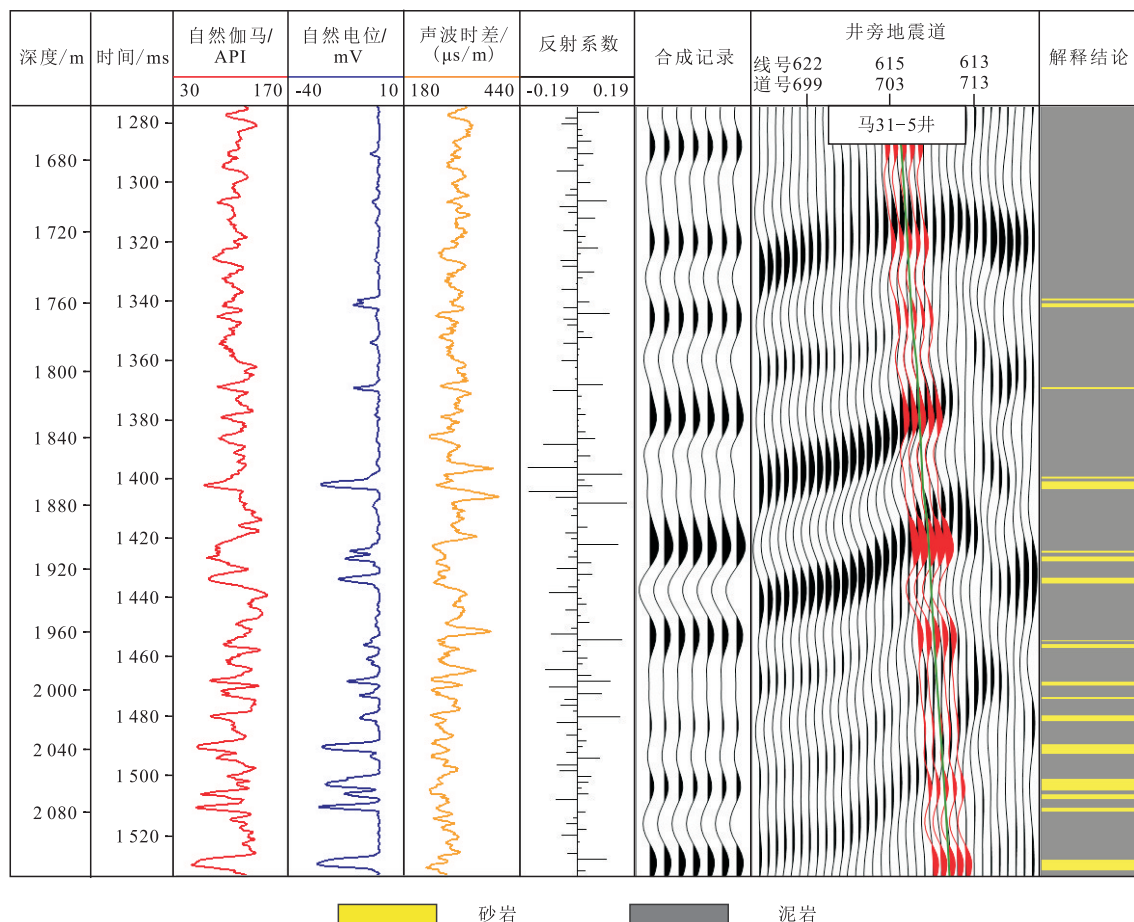


图4 马家嘴油田马31-5井戴南组薄砂岩储层标定

Fig. 4 Calibration of thin sandstone reservoir in Dainan Formation of well Ma31-5 in Majiazui Oilfield

分布距离,充分挖掘地震波形的横向变化与测井敏感曲线的联系,反映储层的空间相变特征,进而分析储层垂向岩性组合的高频结构特征,是一种井震结合的高频模拟方法<sup>[13]</sup>。此方法的优点是可利用任何能够表征储层特征参数的测井曲线进行参数反演,且频带受地震波形的约束<sup>[5]</sup>。在实际勘探开发中,后验井和新钻井吻合率较高<sup>[14,21-24]</sup>。近年,此方法在苏北盆地戴南组、泰州组储层预测中取得了较好应用效果<sup>[25-26]</sup>。

研究区内断裂发育,合理的框架模型是描述复杂区地层接触关系和储层空间结构的基础,高质量的解释方案是高品质反演的重要保障,精细解释目的层层位及断层,消除跳点、不闭合、穿轴、解释精度不够及解释方案不合理的问题,质控并优化了框架模型的构建,确保模型结构符合地质特征。

### 3 反演结果分析及应用

#### 3.1 反演结果分析

选取标准井对自然电位曲线值域进行校正及标准化处理,提高测井曲线的质量,图5为马家嘴油田反演叠合原始地震剖面,红色即为预测的砂岩发育区,可见波形指示模拟能区分出1套反射强轴之间的若干层薄砂岩,波形有细微横向变化均会反映在反演剖面上,即薄储层变化影响了同相轴波形,最后反映到反演剖面上。

图6为马31-5井、马31-6井的反演剖面,波形指示模拟预测表明砂岩发育段和测、录井砂岩段(井上黄色段)具有较高的吻合度,在提高纵、横向分辨率的前提下,反演剖面砂岩分布情况符合研究区的

地质沉积特点,在纵向上可识别出厚度大于2 m的薄砂岩。

选取研究区内未参与反演运算的马4井为后验井(图7a),结合过井反演剖面可观察到后验井测井解释的砂岩段与预测结果具有很好的一致性,个别薄砂岩由于井曲线未参与反演运算,在深度上存在纵向漂移情况,但与测井解释结果对应关系良好,有较强的可靠性。新钻井侧马31-4井的测井解释结果与预测结果吻合度高(图7b)。通过验证,测井解释厚度大于2 m的砂岩符合率为86%,能够合理反映研究区内薄砂岩储层的特征。

通过多层次位和断层的约束构建的格架模型,可以有效描绘储层的空间结构和地层的接触关系,消除断层发育对反演结果的影响。图8中井轨迹通过断层的马31-14井,由于在断层处解释层位的插值和模型的平滑处理,导致反演结果存在点状突变。但是,穿过断层前后预测结果均符合沉积规律,仅在贴近断面及下降盘处存在一定影响。

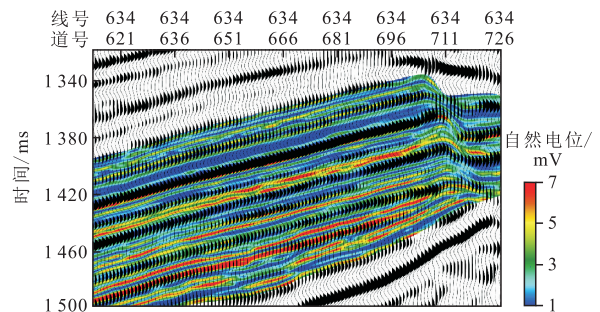


图5 马家嘴油田反演叠合原始地震剖面  
Fig. 5 Inversion superimposed original seismic profile of Majiazui oilfield

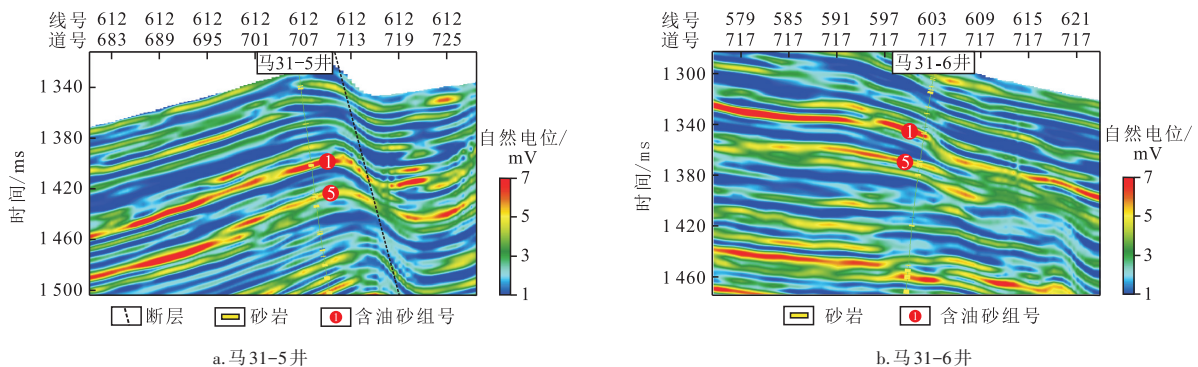


图6 马家嘴油田马31-5井、马31-6井反演剖面  
Fig. 6 Inversion profiles of Well Ma 31-5 and Well Ma 31-6 in Majiazui Oilfield

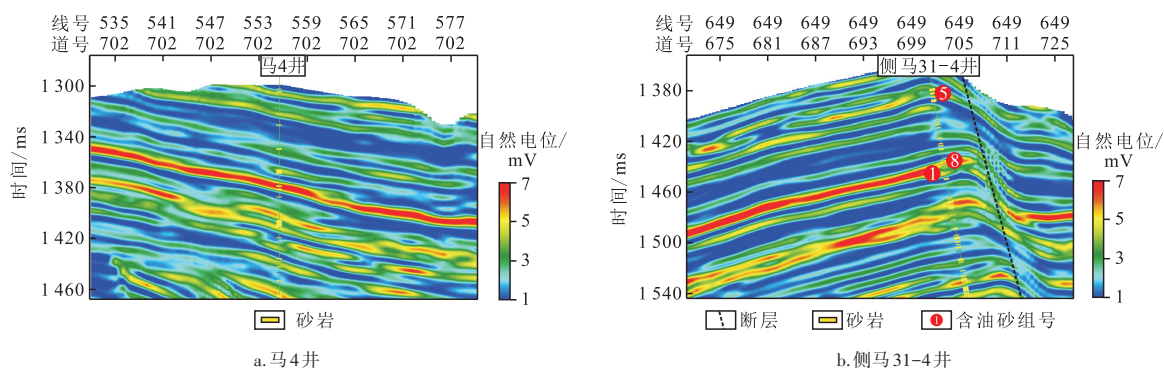


图7 马家嘴油田马4井、侧马31-4井反演剖面

Fig. 7 Inversion profiles of Well Ma 4 and Sidetracking Well Ma 31-4 in Majiazui Oilfield

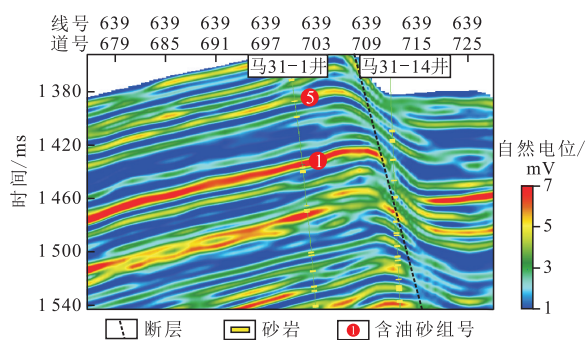


图8 马家嘴油田马31-1井、马31-14井反演剖面

Fig. 8 Inversion profiles of Well Ma31-1 and Well Ma31-14 in Majiazui Oilfield

### 3.2 砂组分布认识及井位目标选取

马3断块主力含油砂组为戴二段五亚段③砂组,针对此套含油砂组选取时窗提取了平面展布预测图(图9a),与地质油层分布图(图9b)进行对比,可以看到砂组平面展布与断块内沉积特征相符,且砂组发育程度与油藏分布范围有较强的对应关系,符合地质规律,在此基础上结合平面矛盾对此套含油砂组分布进行了重新认识,对目标区构造岩性油藏滚动扩边具有积极意义。

下降盘西部马3井前期由于井筒损坏停产,停产前累计采油7 900 t,马5-18A井钻遇此砂组,为干层不含油,上升盘马5-3井钻遇此砂组未获得产量,故前期并未关注西部的扩边潜力。结合油井生产情况、油层分布图及储层预测结果分析认为,马3断层上升盘只有高部位含油,西部岩性边界在马5-3井与马5井之间,下降盘呈现连片含油,侧马5-18A井向

西现阶段不存在采油井,且预测结果显示此砂组向西仍有较好发育,结合马3井获得高产,认为马3井西部有较大滚动开发潜力,故优先选用马3井进行侧钻,向西探索高部位含油砂组边界及产能,恢复储量控制。预计可钻遇2套含油砂组,厚度为8 m,若实施成功则可向西上升盘及南部低部位探索砂组边界,并进一步完善注采井网。

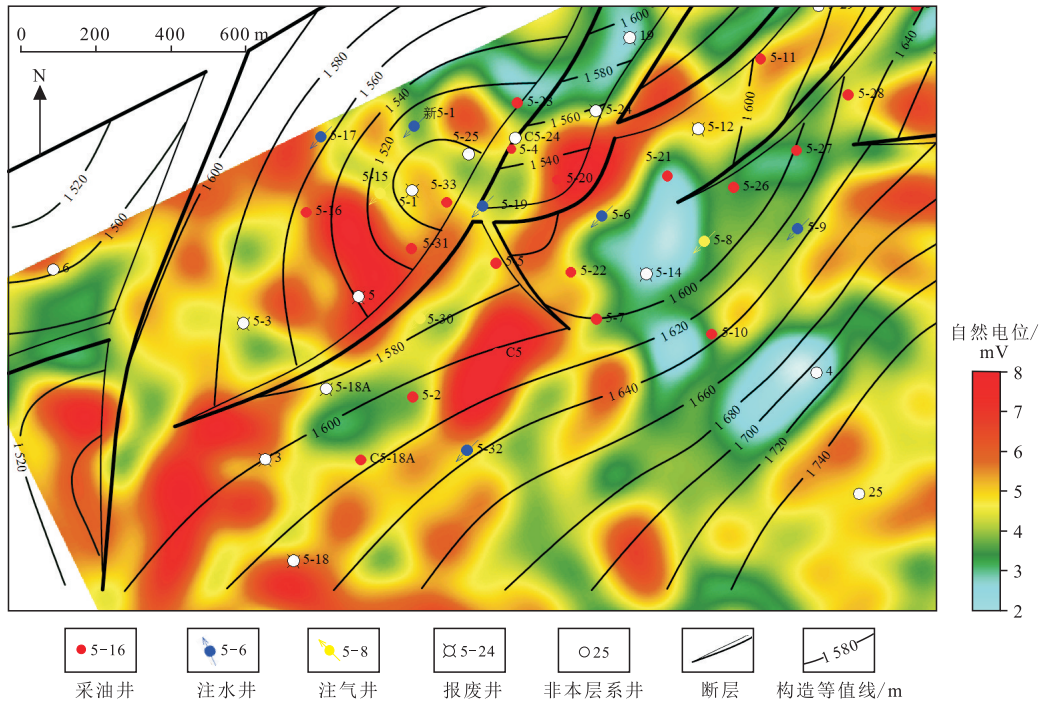
## 4 结论

1) 声波时差和电阻率难以对研究区内砂、泥岩进行有效识别,自然电位和自然伽马能够对研究区内薄砂岩进行有效识别,自然电位相较于自然伽马对砂、泥岩识别更加敏感。

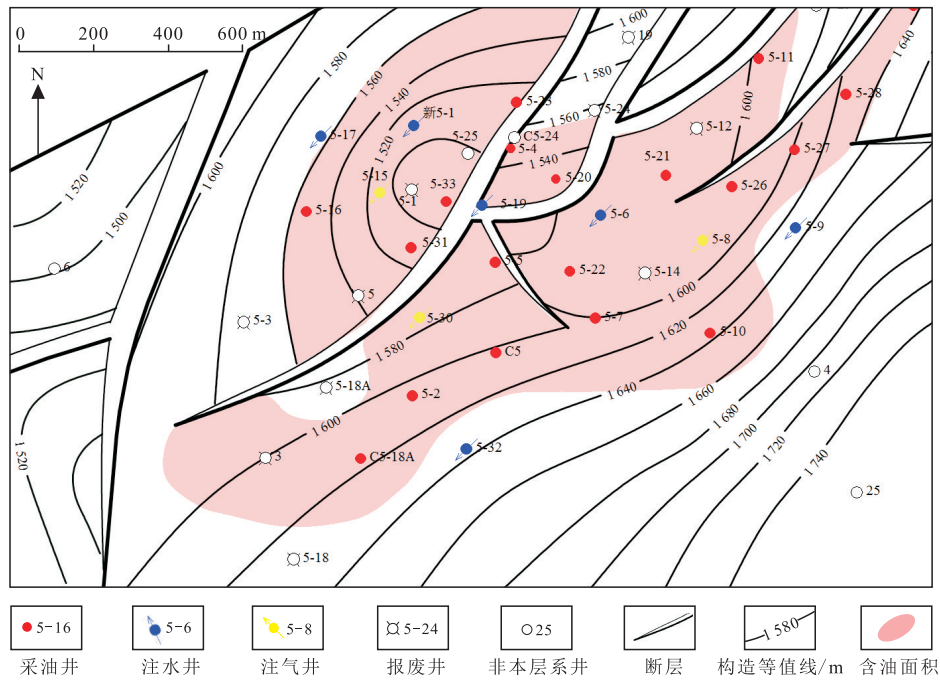
2) 波形指示模拟通过井震协同的高频模拟可同时提高纵、横向分辨率,反演结果确定性强,通过自然电位曲线模拟生成的反演体分辨率高,能够分辨1套反射强轴间的多套薄砂岩,预测结果与测井解释储层段对应关系良好,能够预测厚度大于2 m的薄砂岩。

3) 构建地层格架模型可在一定程度上消除断层对反演结果的影响,断层的存在对贴近断层位置及下降盘的反演结果存在一定影响。

4) 结合储层预测结果对马3断块戴二段五亚段③砂组平面展布进行了重新认识,并明确了马3断层下降盘西部的滚动潜力,认为此砂组在马3断层上升盘只有高部位含油,西部岩性边界在马5井与马5-3井之间,马3断层下降盘为连片含油,其岩性边界为西部贴近断层的位置。



a. 储层平面展布预测



b. 地质油层分布

图9 马家嘴油田马3断块戴二段五亚段③砂组储层平面展布预测与地质油层分布对比

Fig. 9 Prediction of reservoir plane distribution and comparison of geological oil layer distribution in the third sand formation of fifth sub-paragraph of second Dai Formation of Block Ma 3 in Majiazui Oilfield

参考文献

[1] 薄永德, 贺向阳. 苏北盆地高邮凹陷邵伯西地区戴南组隐蔽油藏研究[J]. 石油物探, 2004, 43(2): 159-162.  
BO Yongde, HE Xiangyang. Study of subtle reservoirs of Dainan Formation in western Shaobo in Gaoyou Sag, Subei

Basin. Geophysical Prospecting For Petroleum[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2004, 43(2): 159-162.  
[2] 张喜林, 朱筱敏, 钟大康, 等. 苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组沉积相及其对隐蔽油气藏的控制[J]. 古地理学报, 2005, 7(2): 207-218.

- ZHANG Xilin, ZHU Xiaomin, ZHONG Dakang, et al. Sedimentary facies and its controlling on subtle oil and gas reservoirs of the Dainan Formation of Paleogene in Gaoyou Sag, Subei Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(2): 207-218.
- [3] 李玉城. 苏北盆地高邮凹陷戴南组隐蔽油气藏研究[J]. 中国石油勘探, 2008, 13(1): 21-27.
- LI Yucheng. Research on subtle Hydrocarbon reservoirs of Dainan Formation in Gaoyou Sag of Subei Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2008, 13(1): 21-27.
- [4] 纪友亮, 李清山, 王勇, 等. 高邮凹陷古近系戴南组扇三角洲沉积体系及其沉积相模式[J]. 地球科学与环境学报, 2012, 34(1): 9-19.
- JI Youliang, LI Qingshan, WANG Yong, et al. Fan delta sedimentary system and facies models of Dainan Formation of Paleogene in Gaoyou Sag[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2012, 34(1): 9-19.
- [5] 杜伟维, 金兆军, 邸永香. 地震波形指示反演及特征参数模拟在薄储层预测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2017, 14(1): 56-61.
- DU Weiwei, JIN Zhaojun, DI Yongxiang. The application of seismic waveform indicator inversion and characteristic parameter simulation to thin reservoir prediction[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2017, 14(1): 56-61.
- [6] 董雪梅, 徐怀民, 胡婷婷, 等. 层序约束地震储层预测技术在岩性圈闭识别中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47(增刊1): 84-90.
- DONG Xuemei, XU Huaimin, HU Tingting, et al. Sequence constrained seismic reservoir prediction and its application in identification of lithologic trap[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2012, 47(suppl.1): 84-90.
- [7] 王焕弟, 陈小宏. 层序约束储层预测技术在岩性油藏勘探中的应用[J]. 中国石油勘探, 2008, 13(4): 36-42.
- WANG Huandi, CHEN Xiaohong. Application of reservoir predicting techniques of sequence strata to lithologic reservoir exploration[J]. China Petroleum Exploration, 2008, 13(4): 36-42.
- [8] 刘万金, 周辉, 袁三一, 等. 谱反演在地震属性解释中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(3): 423-428.
- LIU Wanjin, ZHOU Hui, YUAN Sanyi, et al. Applications of spectral inversion in the seismic attribute interpretation[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2013, 48(3): 423-428.
- [9] 刘喜武, 年静波, 吴海波. 几种地震波阻抗反演方法的比较分析与综合应用[J]. 世界地质, 2005, 24(3): 270-275.
- LIU Xiwu, NIAN Jingbo, WU Haibo. Comparison of seismic impedance inversion methods and an application case[J]. Global Geology, 2005, 24(3): 270-275.
- [10] 王西文, 石兰亭, 雍学善, 等. 地震波阻抗反演方法研究[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3): 80-88.
- WANG Xiwen, SHI Lanting, YONG Xueshan, et al. Study on seismic impedance inversion[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(3): 80-88.
- [11] 孙思敏, 彭仕宓. 地质统计学反演方法及其在薄层砂体预测中的应用[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2007, 22(1): 41-44.
- SUN Simin, PENG Shimi. Geostatistical inversion method and its application in the prediction of thin reservoirs[J]. Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science), 2007, 22(1): 41-44.
- [12] 顾雯, 徐敏, 王铎翰, 等. 地震波形指示反演技术在薄储层预测中的应用——以准噶尔盆地B地区薄层砂岩气藏为例[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(11): 2064-2069.
- GU Wen, XU Min, WANG Duohan, et al. Application of seismic motion inversion technology in thin reservoir prediction: A case study of the thin sandstone gas reservoir in the B area of Junggar Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(11): 2064-2069.
- [13] 盛述超, 毕建军, 李维振, 等. 关于地震波形指示模拟反演(SMI)方法的研究[J]. 内蒙古石油化工, 2015, 41(21): 147-151.
- SHENG Shuchao, BI Jianjun, LI Weizhen, et al. Study of Seismic Waveform indicator simulation Inversion[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2015, 41(21): 147-151.
- [14] 高君, 毕建军, 赵海山, 等. 地震波形指示反演薄储层预测技术及其应用[J]. 地球物理学进展, 2017, 32(1): 142-145.
- GAO Jun, BI Jianjun, ZHAO Haishan, et al. Seismic waveform inversion technology and application of thinner reservoir prediction[J]. Progress in Geophysics, 2017, 32(1): 142-145.
- [15] 陈洪才, 李爱民, 杨冬平, 等. 苏北盆地高邮凹陷马家嘴地区戴南组油气成藏主控因素[J]. 石油天然气学报, 2014, 36(12): 28-32.
- CHEN Hongcai, LI Aimin, YANG Dongping, et al. Main controlling factors of hydrocarbon accumulation of Dainan Formation in Majiazui Area of Gaoyou Sag in Subei Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2014, 36(12): 28-32.
- [16] 周健, 林春明, 李艳丽, 等. 苏北盆地高邮凹陷马家嘴地区古近系戴南组物源分析[J]. 沉积学报, 2010, 28(6): 1117-1128.
- ZHOU Jian, LIN Chunming, LI Yanli, et al. Provenance analysis of Dainan Formation(Paleogene) of Majiazui in Gaoyou Sag, Subei Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinca, 2010, 28(6): 1117-1128.
- [17] 高丽坤, 林春明, 姚玉来, 等. 苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组沉积相及沉积演化[J]. 沉积学报, 2010, 28(4): 706-716.
- GAO Likun, LIN Chunming, YAO Yulai, et al. Sedimentary facies and evolution of Paleogene Dainan Formation in Gaoyou Sag, Subei Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinca, 2010, 28(4): 706-716.
- [18] 邓丽娟, 夏连军, 张列平, 等. 苏北盆地隐蔽油气藏勘探方法探讨——以高邮凹陷为例[J]. 复杂油气藏, 2009, 2(1): 14-19.
- DENG Lijuan, XIA Lianjun, ZHANG Lieping, et al. The exploration methods research of subtle reservoir in North Jiangsu Basin——Taking Gaoyou Depression for example[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2009, 2(1): 14-19.
- [19] 毕天卓, 刘金华, 葛政俊. 马家嘴——联盟庄地区戴南组油气成藏规律[J]. 复杂油气藏, 2022, 15(2): 8-11.
- BI Tianzhuo, LIU Jinhua, GE Zhengjun. Hydrocarbon accumulation law of Dainan Formation in Majiazui-Lianmengzhuang area[J]. Small Hydrocarbon Reservoirs, 2022, 15(2): 8-11.
- [20] 金忠康, 孙晓庆. MJZ油田构造岩性油藏滚动扩边潜力评价

- 与认识[J]. 油气藏评价与开发, 2023, 13(2): 173-180.
- JIN Zhongkang, SUN Xiaoqing. Evaluation and recognition of rolling expansion potential of structural lithologic reservoir in MJZ Oilfield[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2023, 13(2): 173-180.
- [21] 杜佳, 刘彦成, 白洁玢, 等. 基于波形指示模拟的致密砂岩储层预测[J]. 地质科技通报, 2022, 41(5): 94-100.
- DU Jia, LIU Yancheng, BAI Jiefen, et al. Prediction of tight sandstone reservoirs based on waveform indication simulation [J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2022, 41 (5): 94-100.
- [22] 杨川, 冯鑫, 李啸, 等. 准噶尔盆地前哨地区三工河组二段沉积特征及有利储层预测[J]. 东北石油大学学报, 2022, 46(5): 1-13.
- YANG Chuan, FENG Xin, LI Xiao, et al. Sedimentary characteristics and prediction of favorable reservoir of the member 2 of Sangonghe Formation in the Qianshao Area, Junggar Basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2022, 46(5): 1-13.
- [23] 王连桥, 全钦飞, 王科朋, 等. 测井参数随机模拟在薄储层描述中的应用[J]. 复杂油气藏, 2018, 11(1): 32-36.
- WANG Lianqiao, QUAN Qinfei, WANG Kepeng, et al. Stochastic simulation of logging parameters for description of thin reservoir[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2018, 11 (1): 32-36.
- [24] 胡玮, 张建宁, 杨江峰, 等. 地层超覆尖灭型油气藏的储层展布与厚度精确识别技术研究[J]. 地球物理学进展, 2021, 36(6): 2472-2478.
- HU Wei, ZHANG Jianning, YANG Jiangfeng, et al. Study on reservoir accurate identification technology of areal extent and thickness of overlap-denudation pinch out stratigraphic reservoir[J]. Progress in Geophysics, 2021, 36(6): 2472-2478.
- [25] 夏步余. 黄珏-马家嘴油田薄砂体预测技术应用研究[J]. 复杂油气藏, 2017, 10(3): 12-17.
- XIA Buyu. Application of thin reservoir prediction technology in Huangjue-Majiazui Oilfield[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2017, 10(3): 12-17.
- [26] 张星, 张雅君. 海安凹陷XJ地区泰一段第二段地层圈闭识别方法[J]. 复杂油气藏, 2017, 10(2): 21-26.
- ZHANG Xing, ZHANG Yajun. Identification method of stratigraphic trap in  $K_2L_1^2$  of XJ area, Hai'an Sag[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2017, 10(2): 21-26.

(编辑 郭群)

(上接第107页)

- condensate contamination[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25 (2): 133-135.
- [17] 周小平, 孙雷, 陈朝刚. 低渗透凝析气藏反凝析水锁伤害解除方法现状[J]. 钻采工艺, 2005, (5): 66-68.
- ZHOU Xiaoping, SUN Lei, CHEN Chaogang. Development and methods of removing retrograde condensate and water blocking impairment in the low permeability condensate gas reservoir[J]. Drilling and Production Technology, 2005, (5): 66-68.
- [18] 徐兵威, 王世彬, 刘城成. 致密低渗底水气藏控水二次加砂压裂技术研究与应用[J]. 油气藏评价与开发, 2022, 12(4): 698-702.
- XU Bingwei, WANG Shibin, LIU Chengcheng. Research and application of water-control secondary sanding fracturing technology in tight low permeability bottom water gas reservoir [J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2022, 12 (4): 698-702.
- [19] 谭先红, 梁斌, 王帅, 等. 一种低渗储层凝析气藏气井产能评价方法研究[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(5): 724-729.
- TAN Xianhong, LIANG Bin, WANG Shuai, et al. A productivity evaluation method of gas wells in condensate gas reservoirs with low permeability[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(5): 724-729.
- [20] 刘成川, 王勇飞, 毕有益. 中江气田窄河道致密砂岩气藏高效开发技术[J]. 油气藏评价与开发, 2022, 12(2): 345-355.
- LIU Chengchuan, WANG Yongfei, BI Youyi. Efficient development technique of tight sandstone gas reservoir in narrow channel of Zhongjiang Gas Field[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2022, 12(2): 345-355.
- [21] 王德英, 刘晓健, 邓辉, 等. 渤海湾盆地渤中19-6区中-新生代构造转换特征及其对太古宇潜山大规模储层形成的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(6): 1334-1346.
- WANG Deying, LIU Xiaojian, DENG Hui, et al. Characteristics of the Meso-Cenozoic tectonic transformation and its control on the formation of largescale reservoirs in the Archean buried hills in Bozhong 19-6 area, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(6): 1334-1346.
- [22] 李文浩, 卢双舫, 王民, 等. 基于扫描电镜大视域拼接技术定量表征致密储层微观非均质性[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(6): 1497-1504.
- LI Wenhao, LU Shuangfang, WANG Min, et al. Quantitative characterization of micro heterogeneity of tight reservoirs by large-view FE-SEM splicing technology[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(6): 1497-1504.
- [23] 袁静, 周涛, 乔俊, 等. 深层砂砾岩中的深部热流体作用及其地质意义——以渤海湾盆地东营凹陷民丰—盐家地区古近系沙河街组四段为例[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(4): 929-942.
- YUAN Jing, ZHOU Tao, QIAO Jun, et al. Deep hydrothermalism of deep coarse-grained siliciclastic rocks and its geological significance: A case study of the 4th member of the Paleogene Shahejie Formation in Minfeng-Yanjia area, Dongying Sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(4): 929-942.

(编辑 徐佩)