

渤海湾盆地束鹿凹陷中南部沙三下亚段 致密泥灰岩储层分布预测

曹鉴华¹,王四成²,赖生华³,熊聪聪¹

(1. 天津科技大学,天津 300222; 2. 中国石油 华北油田分公司,河北 任丘 062552; 3. 西安石油大学,陕西 西安 710065)

摘要:渤海湾盆地束鹿凹陷中南部古近系沙河街组三段下亚段(沙三下亚段)泥灰岩储层非常致密,具有源储一体、大面积连续分布、含油性好且边界不受构造控制等特性,勘探潜力巨大。但由于沙三下亚段岩性复杂、泥灰岩储层物性很差且非均质性强,储层预测难度大。为此在储层基本特征分析的基础上,提出针对致密泥灰岩储层的地球物理综合预测技术。首先,通过多井对比及井-震精细标定建立地震层序框架,细分沉积单元,落实构造背景;然后,采用地质模型正演、基本地震属性分析、叠后波阻抗反演等处理分析技术开展致密储层定性解释;最后,在地震层序界面约束下结合地层切片技术对致密泥灰岩储层开展三维时空动态分布预测。综合研究结果表明,研究区沙三下亚段为一个完整的三级层序;泥灰岩储层空间分布范围随沉积阶段由低位域—湖侵域—高位域变化而逐步扩大。其中,洼槽区为沉积中心,其泥灰岩厚度最大;湖侵域晚期泥灰岩分布范围最广,且相对较纯;而临近洼槽区的西斜坡内带北北东向断裂发育,泥灰岩与砾岩交互沉积,为寻找勘探甜点的有利区域。

关键词:致密油;储层分布;泥灰岩;束鹿凹陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Distribution prediction for tight marlstone reservoirs in lower 3rd Member of the Shahejie Formation in central and southern Shulu sag, Bohai Bay Basin

Cao Jianhua¹, Wang Sicheng², Lai Shenghua³, Xiong Congcong¹

(1. Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China; 2. Huabei Oilfield Company, PetroChina, Renqiu, Hebei 062552, China; 3. Xi'an Petroleum University, Xi'an, Shaanxi 710065, China)

Abstract: This paper focuses on the tight marlstone reservoir in lower 3rd Member of the Shahejie Formation in central and southern Shulu sag, Bohai Bay Basin. The reservoir is of great economic potential, and has the same characteristics as tight oil reservoir, such as reservoir-source coexisting, continuous distribution, oil-bearing but unclear boundary. Owing to its tight physical property and complex sedimentary environment, it is challenging to precisely predict distribution of the marlstone reservoir. In this paper, we presented a comprehensive geophysical workflow for prediction of tight marlstone reservoir. Firstly, the geological and geophysical features of the reservoir are studied. Secondly, multiple wells correlation and well-to-seismic calibration are carried out. Thereafter seismic-based sequential stratigraphy frameworks are established, and depositional units are identified. Then qualitative interpretation for the target reservoir is carried out by using techniques including geophysical modeling, basic seismic attributes analysis and post-stack impedance inversion. Finally, spatial and temporal reservoir distribution is analyzed with the integration of strata slicing technique, seismic attributes analysis and sequential boundary constraints. The results show that the lower 3rd Member of Shahejie Formation can be considered as a complete third-order sequence, and the distribution range of the target reservoir becomes wider as the depositional stages changes from low system tract, to transgressive system tract and finally to high system tract. The reservoir is thickest in central sag, while it is relatively pure and the most extensive in late stage of transgressive system tract. The inner slope has well-developed faults with NEE strike, and interbedded conglomerate and marlstone, thus is a favorable area for further exploration.

Key words: tight oil, reservoir distribution, marlstone, Shulu sag, Bohai Bay Basin

束鹿凹陷油气地震勘探工作始于20世纪70年代,截止目前已有多口井在泥灰岩段测试获得了工业

收稿日期:2014-02-09;修订日期:2014-06-30。

第一作者简介:曹鉴华(1979—),男,讲师,地学数据处理与计算机应用、人工智能、油气地震地质。E-mail:caojh@tust.edu.cn。

基金项目:国家自然科学基金项目(41372118), (61272509)。

油流,其中 ST1 井钻遇含油泥灰岩储层厚度达到了 600 m 以上。综合研究表明,泥灰岩储层属于一类典型的致密油储层,其物性非常差,具备源储一体、纵向厚度大、横向分布面积广等特征,勘探潜力巨大,华北油田已经将其列为非常重要的致密油勘探目标加以攻关研究。为此本文利用地球物理综合预测技术开展泥灰岩储层分布研究,探索致密泥灰岩储层分布规律认识,为泥灰岩甜点勘探提供可靠依据。

1 地质概况

束鹿凹陷位于渤海湾盆地冀中拗陷南部,是在古生界基底上发育起来的呈北东向展布、东断西超的半地堑凹陷,属于冀中拗陷 6 个主要富油拗陷之一^[1]。受内部古隆起及断裂持续活动的影响,在古近系沙河街组三段下亚段(沙三下亚段)沉积过程中,整个湖盆被分割为 3 个不完全畅通的独立水体部分,水体由北往南逐步咸化,进而导致沉积序列的变化,即北洼槽为砂、泥碎屑岩沉积、南洼槽为膏盐岩沉积,而面积最广的中洼槽则沉积了一套半深湖-深湖碎屑流碳酸盐岩质砾岩、泥灰岩、灰质泥岩、页岩等复杂岩性建造^[2]。

研究区地层呈东断西超、东厚西薄的分布特征,构造呈“两隆两洼一坡”格局分布,两隆即北部台家庄、中部荆丘古隆起、两洼即中洼槽和南洼槽、一坡即西斜坡。目前钻遇泥灰岩段的探井主要分布在中洼槽斜坡带,其中靠近中洼槽部署的 ST1 井钻遇泥灰岩厚度达 600 余米。

2 泥灰岩储层基本特征

研究区沙三下亚段岩性构成较为复杂,包括砂砾岩、泥灰岩、泥岩、油页岩、膏盐岩等,其中砂砾岩、泥灰岩具备一定的油气储集能力,已有多口井在这两类储层中测试获得了工业油流。砂砾岩储层属于常见的储层类型之一,其具有重力流成因^[3],呈厚层块状分布,物性较差但被包裹在生油岩中,易于成藏。泥灰岩储层则非常特殊,为特殊古地理背景下的湖相混合沉积产物^[4],物性很差,而地球化学分析表明其本身即是生油岩,有机质丰度高,完全具备自生自储、源储一体成藏要素。从已钻遇泥灰岩井来看,泥灰岩整段含油,取心段油迹清晰,在实施压裂后油气产出可达到工业标准,但产量衰减也快。根据国内外学者对致密油的定义和描述^[5-11],泥灰岩储层为一种典型的非常规致密油类型储层。

泥灰岩储层总体致密,物性差,为超低孔低渗型储层。对研究区 ST1 井样品测试孔隙度、渗透率进行分布频率统计,孔隙度平均值为 1.34%,近 72% 样品孔隙度分布在 0.5%~2.5%;渗透率平均值为 $2.59 \times$

$10^{-3} \mu\text{m}^2$,90% 样品渗透率在 $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下,变化范围为 $0.04 \times 10^{-3} \sim 4.28 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。当存在裂缝时渗透率值明显增大,最高可达 $38.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

泥灰岩储层具有较易辨识的测井响应特征,主要体现为较低自然伽马、较低声波时差、中等电阻等特征。从声波阻抗分布范围对比来看,泥灰岩声阻抗值处于中等区间,砾岩阻抗最高,而灰质泥岩、泥岩、页岩、膏岩等相对偏低。从阻抗分布区间来看,岩性之间有较小范围重叠,但整体差异明显。考虑到现有地震预测地质目标尺度均以米为单位来衡量,同时便于后续的岩性分布预测,对于主要岩性成分以粒级标准同时参考声阻抗特征主要划分为三类:高阻抗粗粒级砾岩、中等阻抗较细粒级泥灰岩、低阻抗细粒级泥岩(包括如泥岩、页岩、膏岩、灰质泥岩、粉砂质泥岩等)。

3 地球物理综合预测技术

3.1 井-震综合标定及层序格架

井震标定是连接井数据与地震数据之间的桥梁,是地震解释和储层预测的基础。研究区探井较多,在对各井测井曲线进行标准化处理后,从地震数据提取子波开展了合成记录标定。如图 1 为 J100 井沙三下亚段标定示例。可以看出,井震匹配关系良好,测井曲线特征很好的指示了岩性及地层层序变化,同时整个沙三下亚段在地震剖面上对应四个波组反射,这在全工区都可以对比追踪解释。

综合测井、取心、地球化学测试、地震等资料将沙三下亚段划分为一个完整的 3 级层序,包括低位域、湖侵域、高位域 3 个体系域单元,而基于地震反射波组特征则可将沙三下亚段细分为 4 个沉积单元,其中第Ⅳ单元为低位体系域,湖侵域包括Ⅲ和Ⅱ两个单元,Ⅰ单元为高位体系域。以 J100 井为例,第Ⅳ单元以砾岩沉积为主,其顶部为湖泛面,沉积了较低速的泥灰岩与泥岩,整个单元顶界呈现波峰强振幅反射特征;第Ⅲ单元砾岩沉积仍占主导,其顶界亦为较强波峰振幅反射特征,但横向上特征变化较大。在Ⅱ单元沉积早期出现湖侵,并在整个沙三下亚段上部湖水一直持续加深,在Ⅱ单元沉积了厚层泥灰岩,而Ⅰ单元则以泥灰岩与泥岩互层为主,同时夹杂较薄重力流成因的砾岩沉积。依据典型井的综合标定,对各单元顶面开展了全区追踪解释,建立了地震层序框架。

3.2 基本地震属性分析

地震属性内容十分丰富,种类繁多,在断裂识别、沉积体系演化、优质储层分布、烃类检测等方面都得到了很好的应用,取得了良好的地质效果^[12-14]。

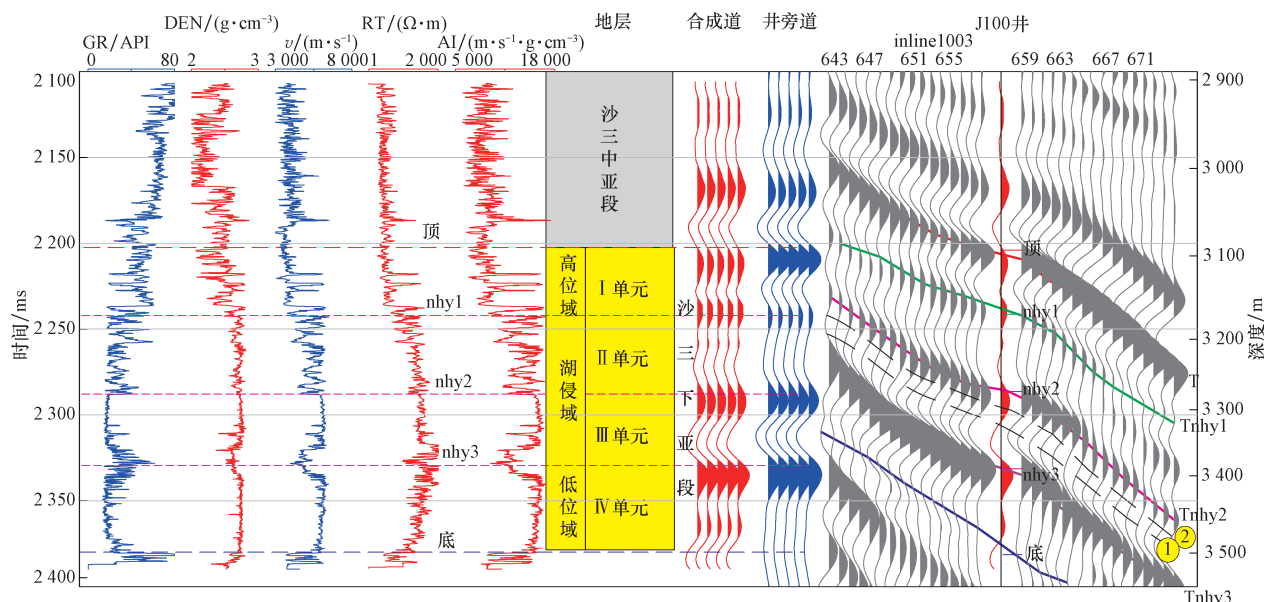


图1 束鹿凹陷J100井沙三下亚段合成记录标定及层序划分

Fig.1 Well-to-seismic calibration and sequence stratigraphy division for the lower 3rd Member of Shahejie Formation for Well J100 in Shulu sag
①, ②. 切片位置

瞬时振幅、瞬时相位、瞬时频率等“三瞬”属性是最经典的基本地震属性^[15-19]。瞬时振幅直接与地层反射系数相关,因此常用于指示岩性及其速度、孔隙、流体等导致反射系数变化的因素。瞬时相位是地震剖面上同相轴连续性的量度,无论反射能量强弱,其相位都能显示出来。因此利用瞬时相位能很好的对地层反射异常边界进行识别。瞬时频率为相位的时间变化率。瞬时频率与地层频率特性有关,而后者又往往与沉积物颗粒粗细、含油气等紧密联系,因此常用瞬时频率属性判断地层的均质性、烃类预测等。

对于同一探测地层对象,三种瞬时信息在相同位置均发生明显变化表明地层的明显异常,如地层速度和物性的变化。在三种属性中,瞬时相位的变化最明显,分辨率最高,而瞬时频率和瞬时振幅变化也较为直观,因此可以利用后两者确定地下异常区域,用瞬时相位确定变化的边界。

为了验证基本地震属性对目标层段的适用性,基于沙三下亚段岩性分布特征建立了地质模型并进行了模型正演分析。如图2a为J100井沙三下亚段层状速度模型。该井中下部为厚层高速砾岩,中间夹低速泥灰岩和泥岩;中上部砾岩含量减少,岩性主要为泥灰岩与泥岩薄互层组合;顶部及沙三中亚段底部均为低速的泥岩沉积。利用地震资料提取的子波进行正演,获得地震记录剖面,并利用希尔伯特变换计算获取三瞬属性(图2b—d)。

分析可以看出:①瞬时振幅是对岩性速度或波阻抗差异的一种直接响应,两处振幅包络强值区域(黄红色指示)分别出现在层段下部分层 nhyl3 和层段上部分

层 nhyl 处,均为岩性组合速度变化差异大所引起,而岩性速度接近或者差异较小时,振幅包络值均处于中低值区域;②瞬时相位则突出了岩性变化的边界,每一个相位的突变基本上都对应着岩性的分界面,而同一套岩性内部相位基本保持不变;③瞬时频率对中上部泥灰岩与泥岩薄互层组合比较敏感,频率呈现高值,而在同一套岩性内部均质性较强,频率也偏低。与速度模型相比,这三种基本地震属性剖面纵向分辨率相对偏低,而且均无法直接辨识岩性,但对存在岩性速度差异区域具有较为敏感的反应。

3.3 地震波阻抗反演

致密泥灰岩储层与围岩存在一定阻抗差异,为波阻抗反演识别岩性提供了可靠基础。对工区目标层段开展波阻抗反演及属性参数反演,获得了波阻抗反演体及自然伽马反演体。并采用筛除法识别泥灰岩类岩性:首先从波阻抗体中去除高阻抗砾岩类样点,然后综合利用保留的波阻抗体与伽马体剔除泥岩类样点,最后获得泥灰岩类岩性数据体。如图3即为采用筛除法识别泥灰岩储层实例,从图中可以看出泥灰岩在沙三下亚段各沉积单元内、不同构造位置均有分布,同时往凹陷中心泥灰岩呈现增厚趋势。

4 致密泥灰岩储层分布预测

泥灰岩具有空间分布广泛、纵向厚度变化大的特征,定量预测非常困难,为此以探索储层分布规律、寻找优势分布区域为主要研究目的,在研究过程中基于地震反演属性和基本属性,利用地震层序界面及切片

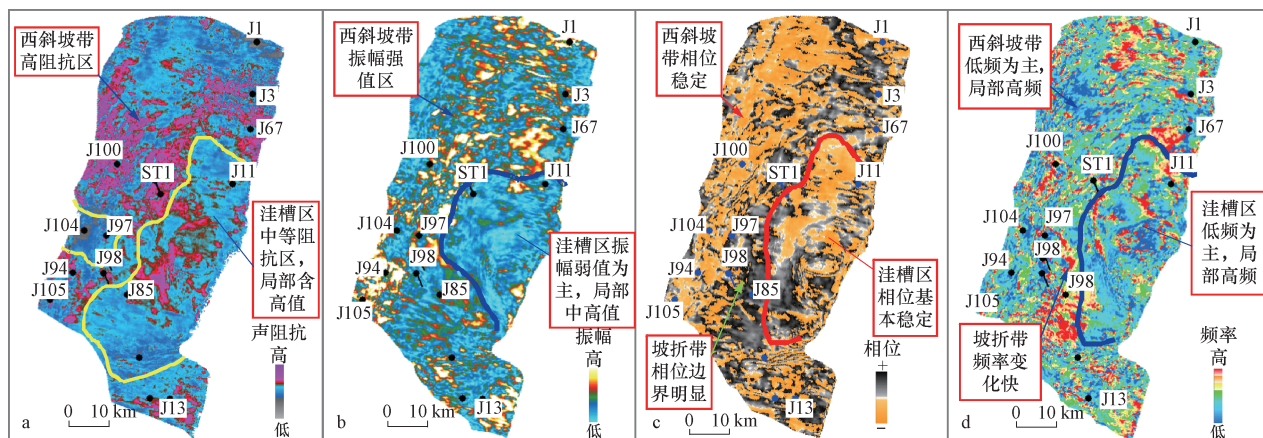


图4 束鹿凹陷沙三下亚段第Ⅱ沉积单元1号属性切片(切片位置见图1)

Fig. 4 The 1st attribute slices of the 2nd sedimentary unit in the lower 3rd Member of Shahejie Formation, Shulu sag (slice position see Fig. 1)

a. 声阻抗; b. 瞬时振幅; c. 瞬时相位; d. 瞬时频率

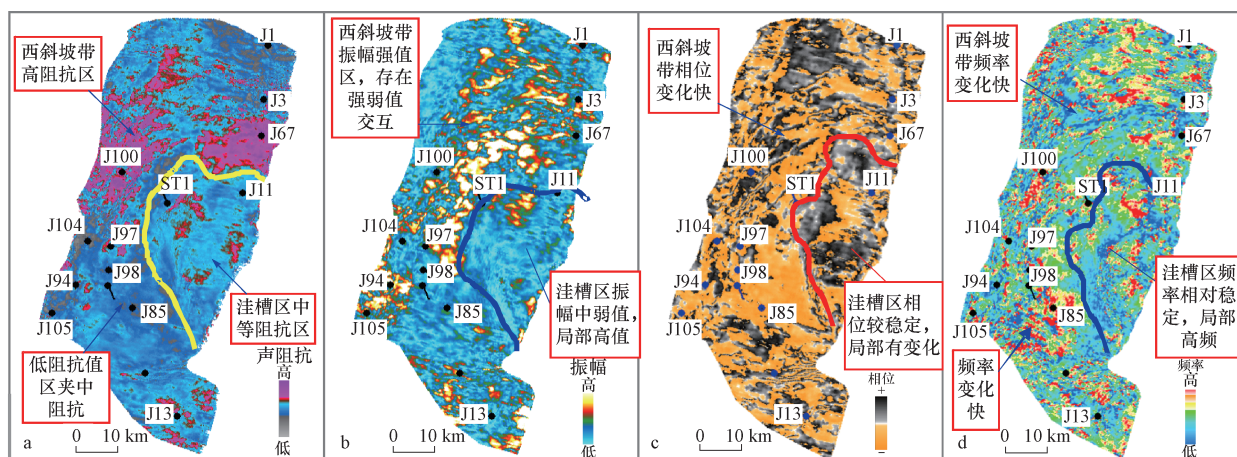


图5 束鹿凹陷沙三下亚段第Ⅱ沉积单元2号属性切片(切片位置见图1)

Fig. 5 The 2nd attribute slices of the 2nd sedimentary unit in the lower 3rd Member of Shahejie Formation, Shulu sag (slice position see Fig. 1)

a. 声阻抗; b. 瞬时振幅; c. 瞬时相位; d. 瞬时频率

积为主,但存在阻抗分布不均、振幅强弱交互、相位频繁转换、频率变化快的区域,表明这些区域湖水高频动荡、为砾岩与泥灰岩交互沉积区;西南侧则以低速的泥岩或页岩为主,同时存在泥/页岩与泥灰岩交互沉积区,在瞬时相位属性上相位比较稳定,同时局部存在高频区。

基于以上的属性切片分析方法,对研究区沙三下亚段以沉积单元为分析时窗,利用近20余张地层切片开展岩性分布预测,形成了研究区从低位域、湖侵域到高位域沉积时期变化的岩性三维空间分布和认识。泥灰岩的分布是随着沉积阶段的变化而动态变化的,在低位域湖盆面积相对较小,泥灰岩主要集中在洼槽区,在斜坡带外侧陡坡区则相对不发育;进入湖侵体系域后随着湖盆面积扩大,泥灰岩分布面积也扩大,整个研究区都存在泥灰岩沉积,第Ⅲ沉积单元地层厚度最大、岩性也相对较纯,到高位域阶段泥灰岩分布面积有一定缩小,更多的呈现与泥岩、页岩等互层沉积样式。由于现洼槽区即古沉积中心,因此不管在哪个沉积阶段,洼槽区始终是泥灰岩沉积最厚、分布最集中的区域。已有的

地球化学分析测试显示洼槽区也是整个束鹿凹陷的生烃中心,泥灰岩即是烃源岩,而且已经进入成熟、排烃阶段。靠近洼槽钻探的ST1井取心显示几乎整个泥灰岩段(纵向厚度接近600 m)都含油,而且样品油味很重。

环洼槽区的西斜坡内带为泥灰岩与砾岩交互沉积区,同时发育多条北北东向正断裂,这些断裂一方面可以沟通油源,另一方面在断裂附近存在大量的次生构造缝,极大改善致密泥灰岩储层的储渗性能,而且目前已钻探的井在泥灰岩和砾岩储层段均有良好的油气显示,部分井在泥灰岩储层段经过压裂开采已获得了工业油流。基于国内外现有致密油勘探开发经验,该区域为寻找泥灰岩致密油的甜点分布区,同时也可对含油砾岩体进行兼探,或以砾岩体为主要地质目标。

5 结论与认识

1) 常规地球物理综合预测技术在泥灰岩致密油类储层预测中仍然非常有效。各种证据表明泥灰岩储

层属于一类非常规致密油储层,而在研究该类致密油储层时,岩性、物性、脆性、含油性等成为关键评价参数。现有条件下三维地震勘探和地球物理技术仍然是必备的手段,而且具有较为关键的作用。井震标定、模型正演、地震属性、地震反演、地层切片技术等流程组合形成的地震预测技术为获得研究区泥灰岩储层分布特征认识奠定了坚实的基础。瞬时振幅、瞬时相位、瞬时频率等经典地震属性值得继续使用和探讨,可以为宏观岩相分布定性认识提供有意义的参考。

2) 研究区泥灰岩经历了低位域、湖侵域、高位域3个沉积阶段,其分布特征随之变化。从沉积阶段来看,低位域阶段泥灰岩主要分布在洼槽区,相对局限,湖侵域晚期泥灰岩分布面积最广,而且相对较纯,到高位域阶段则与泥岩、页岩等互层发育。从分布区域来看,洼槽区是泥灰岩分布最集中、厚度最大的区域,斜坡带则多为泥灰岩与砾岩或者泥/页岩交互沉积,其中靠近洼槽区的斜坡内带是寻找泥灰岩致密油甜点目标的有利区域。

参 考 文 献

- [1] 易士威,王权. 冀中坳陷富油凹陷勘探现状及勘探思路[J]. 石油勘探与开发,2004,31(3):82-86.
Yi Shiwei, Wang Quan. New concept of exploration strategy for the oil-rich Jizhong depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(3): 82-86.
- [2] 旷红伟,覃汉生,刘俊奇,等. 束鹿凹陷中部古近系沙河街组第三段下部层序特征[J]. 石油地质与工程,2007,21(6):26-29.
Kuang Hongwei, Xin Hansheng, Liu Junqi, et al. Stratigraphic sequence features in lower part of the third member of Shahejie Formation in the middle part of Shulu sag[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2007, 21(6): 26-29.
- [3] 邱隆伟,杜蕊,梁宏斌,等. 束鹿凹陷碳酸盐角砾岩的成因研究[J]. 沉积学报,2006,24(2):202-210.
Qiu Longwei, Du Rui, Liang Hongbin, et al. The formation of carbonate breccia in Shulu Depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(2): 202-210.
- [4] 梁宏斌,旷红伟,刘俊奇,等. 冀中坳陷束鹿凹陷古近系沙河街组三段泥灰岩成因探讨[J]. 古地理学报,2007,9(2):167-175.
Liang Hongbin, Kuang Hongwei, Liu Junqi, et al. Discussion on origin for marls of the Member 3 of Shahejie Formation of Paleogene in Shulu Sag of Central Hebei Depression[J]. Journal of Palaeogeography, 2007, 9(2): 167-175.
- [5] 邹才能,朱如凯,吴松涛,等. 常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望——以中国致密油和致密气为例[J]. 石油学报,2012,33(2):174-187.
Zou Caineng, Zhu Rukai, Wu Songtao, et al. Types, characteristics, genesis and prospects of conventional and unconventional hydrocarbon accumulations: taking tight oil and gas in China as an instance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(2): 174-187.
- [6] 邹才能,张国生,杨智,等. 非常规油气概念、特征、潜力及技术——兼论非常规油气地质学[J]. 石油勘探与开发,2013,40(4):385-400.
Zou Caineng, Zhang Guosheng, Yang Zhi, et al. Geological concepts, characteristics, resource potential and key techniques of unconventional hydrocarbon: on unconventional petroleum geology[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(4): 385-400.
- [7] 贾承造,邹才能,李建忠,等. 中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J]. 石油学报,2012,33(3):333-350.
Jia Chenzao, Zou Caineng, Li Jianzhong, et al. Assessment criteria, main types, basic features and resource prospects of the tight oil in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(3): 333-350.
- [8] Nelson P H. Pore-throat sizes in sandstones, tight sandstones, and shales[J]. AAPG Bulletin, 2009, 93(3): 329-340.
- [9] 赵靖舟,李军,曹青,等. 论致密大油气田成藏模式[J]. 石油与天然气地质,2013,34(5):573-583.
Zhao Jingzhou, Li Jun, Cao Qing, et al. Hydrocarbon accumulation patterns of large tight oil and gas fields[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(5): 573-583.
- [10] 周庆凡,杨国丰. 致密油与页岩油的概念与应用[J]. 石油与天然气地质,2012,33(4):541-544.
Zhou Qingfan, Yang Guofeng. Definition and application of tight oil and shale oil terms[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 541-544.
- [11] 任战利,李文厚,梁宇,等. 鄂尔多斯盆地东南部延长组致密油成藏条件及主控因素[J]. 石油与天然气地质,2014,35(2):190-198.
Ren Zhanli, Li Wenhui, Liang Yu, et al. Tight oil reservoir formation conditions and main controlling factors of Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(2): 190-198.
- [12] Chopra S, Marfurt K J. Emerging and future trends in seismic attributes[J]. The Leading Edge, 2008, 27(3): 298-318.
- [13] 张建国,韩文功. 东营凹陷浊积砂体叠后地震属性与储层物性相关性研究[J]. 石油物探,2012,51(2):204-212.
Zhang Jianning, Han Wengong. Correlative analysis on post-stack seismic attributes and physical properties of reservoir in turbidite sandstone of Dongying Depression[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2012, 51(2): 204-212.
- [14] 王彦辉,姜岩,张秀丽,等. 三维地震解释技术及其在储层描述中的应用——以松辽盆地杏树岗油田X56区块为例[J]. 石油与天然气地质,2013,34(3):407-412.
Wang Yanhui, Jiang Yan, Zhang Xiuli, et al. 3D seismic interpretation technology and its application in reservoir description—an case from X56 block of Xingshugang oilfield, Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(3): 407-412.
- [15] 林吉祥,施泽进,凌云,等. 利用基本地震属性对目标层段的沉积演化解释研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2007,34(2):174-180.
Lin Jixiang, Shi Zejin, Lin Yun, et al. A study of depositional environment evolution of the target zone through basic seismic attributes analysis[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2007, 34(2): 174-180.
- [16] 钱玉贵,叶泰然,张世华,等. 叠前地质统计学反演技术在复杂储层量化预测中的应用[J]. 石油与天然气地质,2013,34(6):834-840.
Qian Yugui, Ye Tairan, Zhang Shihua, et al. Application of pre-stack geo-statistics inversion technology in quantitative prediction of complex reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(6): 834-840.
- [17] 王香文,刘红,滕彬彬,等. 地质统计学反演技术在薄储层预测中的应用[J]. 石油与天然气地质,2013,33(5):730-735.
Wang Xiangwen, Liu Hong, Teng Binbin, et al. Application of geostatistical inversion to thin reservoir prediction[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 33(5): 730-735.
- [18] 单敬福,王峰,孙海雷,等. 基于地震波阻抗反演的小层砂体预测技术——在大庆油田57水平井区块的应用[J]. 石油与天然气地质,2010,31(2):212-218.
Shan Jinfu, Wang Feng, Sun Hailei, et al. Prediction of sublayer sandstones based on wave impedance inversion in the wellblock of the horizontal well Zhou-57[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 212-218.
- [19] 李占东,李吉,李阳,等. 构造建模约束地震反演技术——以大庆萨尔特油田南八区为例[J]. 石油与天然气地质,2013,34(3):400-406.
Li Zhandong, Li Ji, Li Yang, et al. Structure modeling-constrained seismic inversion technology—a case study from Nanba area in Saertu oilfield, Daqing[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(3): 400-406.

(编辑 张亚雄)