

地震沉积学研究方法在渤南洼陷沙三下9砂组中的应用

田媛, 苏朝光, 巴素玉, 刘升余

中石化胜利油田分公司物探研究院, 山东 东营

收稿日期: 2022年8月15日; 录用日期: 2022年9月8日; 发布日期: 2022年9月15日

摘要

浊积岩油藏是济阳坳陷重要的油气储量阵地, 勘探潜力巨大, 由于其“单期砂体薄、垂向相叠置、边界难识别”的特点, 导致该砂质沉积体分布隐蔽、识别困难, 严重制约油气高效勘探开发。为解决浊积扇砂体识别难度大的问题, 以渤南洼陷南部缓坡带义141-994井区沙三下9砂组为研究对象, 在岩电及井震标定共同确定的等时地层格架约束下, 将沙三下9砂组进一步细分为 $Es_{3x}9^1$ 、 $Es_{3x}9^2$ 、 $Es_{3x}9^3$ 小层; 综合运用正演模拟、Wheeler域等时切片、波形聚类等地球物理技术对目的层砂体进行精细解剖, 明确沉积相带平面展布及沉积演化规律, 并建立浊积扇沉积微相井震识别模板。研究中主要形成以下几点认识: ① 地震剖面上浊积扇多发育于断层下降盘, 其中, 主水道砂体呈“双眼皮”弱反射, 侧缘砂呈“单眼皮”中弱反射, 水道间呈连续强反射特征; ② 通过Wheeler域等时切片与频率域波形聚类属性相结合, 能准确刻画岩性边界, 反映河道展布特征; ③ 9砂组横向呈东-西向迁移, 纵向 $Es_{3x}9^2$ 小层连通性最好, 断层为主要控藏因素。

关键词

浊积扇, 地震沉积学, 波形聚类, 等时切片, 沉积相带, 渤南洼陷

The Application of Seismic Sedimentology Research on the Lower $Es_{3x}9$ Sand-Body in Bonan Sag

Yuan Tian, Chaoguang Su, Suyu Ba, Shengyu Liu

Geophysical Research Institute, Sinopec Shengli Oilfield Company, Dongying Shandong

Received: Aug. 15th, 2022; accepted: Sep. 8th, 2022; published: Sep. 15th, 2022

文章引用: 田媛, 苏朝光, 巴素玉, 刘升余. 地震沉积学研究方法在渤南洼陷沙三下9砂组中的应用[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(9): 1209-1220. DOI: 10.12677/ag.2022.129117

Abstract

Turbidite is an important oil gas reserves field of Jiyang depression which has a great exploration potential. As the characteristic as “single sand-body is thin, with overlapped vertically with many others, and the boundaries are hard to identify”, the distribution of this kind of sandy sediments is concealed and hard to identify, leading to a serious constraint in efficient oil exploration. To solve the difficult issue in identifying the turbidite fan sand bodies, by taking the lower Es_{3x}9 sand-body in the south gentle slope belt 141-994 of Bonan sag as a research object, in the limit of isochronal stratigraphy framework which is based on the lithology-electrify variations and well-seismic calibrate, the authors subdivide the lower Es_{3x}9 sand-body into three single layers: Es_{3x}9¹、Es_{3x}9² and Es_{3x}9³. With the comprehensive use of forward modelling, isochronous slice of Wheeler domain and waveform clustering, the sand-body in target horizon is precisely analyzed, and so that the evolving laws and distribution of sedimentary facies are clarified, then build a well-seismic identified template of turbidite fan. Following conclusions can be drawn from this research: ① according to the seismic section, it can be found that most turbidite fan bodies locate in the descending stage of the fault, and the main channel sand bodies show “double-fold eyelids” with weak reflections, the lateral sand bodies show “single-fold eyelid” with weaker reflections, and the inter-channel sand bodies show continuous strong reflections; ② by combining isochronous slice of Wheeler domain with waveform clustering properties of frequency domain, lithologic boundaries and the patterns of channel distribution are more explicit to depict; ③ Es_{3x}9 sand-bodies are usually shifted in east-west horizon, Es_{3x}9² has best conjunction in vertical, and oil reservoirs are mainly prone to be affected by faults.

Keywords

Turbidite Fan, Seismic Sedimentology, Waveform Clustering, Isochronous Slice, Sedimentary Facies Belt, Bonan Sag

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着油气勘探程度的不断提高, 济阳拗陷油气勘探对象已由大型构造油气藏逐步转入寻找中-小型复杂隐蔽圈闭的目标阶段。目前, 济阳拗陷探明率低至 51%, 已发现油气多呈零星条带状分布, 储量区之间仍存在大量空白区, 勘探潜力巨大[1]。自“十二五”以来, 胜利油田新增油气储量中, 以浊积岩、滩坝、砂砾岩及河道砂为代表的岩性油气藏新增油气储量共计 10.03 亿吨, 占总储量的 53%, 是实现勘探突破和储量升级的主阵地之一[2]。

近年来, 随着地球物理技术的不断革新, 地震资料品质大幅提高, 单点高密度三维地震资料已经在胜利油田东部探区大规模采集应用, 为岩性油气藏精细勘探奠定了资料基础[3] [4]; 同时, 勘探目标“薄、小、碎、深”的特点, 对小尺度地质体地震解释精度及沉积特征分析提出了更高要求, 在此背景之下, 地震沉积学作为一门新兴的沉积地质学与地球物理学交叉综合性学科被大力推广应用, 自 2006 年林承焰、董春梅等学者首次将地震沉积学引入国内后, 许多专家及教授均展开了相关研究并进行应用分析[5]-[14], 在陆相碎屑岩及海相碳酸盐岩沉积体系研究、薄层砂体刻画及储层精细表征、圈闭综合评价等勘探工作中, 地震沉积学研究方法均展现了不可替代的优势。刘长利等[14]针对浊积岩分布复杂、常规地震方法预测难的问题, 运

用 90°相位调整及地层切片技术对滨 682 井区浊积砂空间展布特征进行了详细解剖；刘书会等[13]通过对地震沉积学进行归纳总结，阐明地震沉积学技术应针对不同研究工区沉积特点研发针对性技术，直接套用会出现问题；张玺华等[10]在地震沉积学应用研究过程中发现，简单地进行相位转换，不能正确反映小级别地震等时界面岩性和地震反射的关系，通过分频解释技术对比追踪，利用钻井控制的混合相位子波反褶积技术有效地提高了地震分辨率，并在四川盆地西部新场地区须家河组四段 9 砂组勘探中取得了良好的应用效果。

渤南地区洼陷带已基本整体探明，研究区义 141-994 区块位于渤南洼陷南部，勘探程度相对较低，近几年先后多次投入精力开展对该区沙三段进行专项钻探部署，虽取得了一定的钻探成果，但仅在 yx145、y142、y96 井取得零星突破，油气向缓坡盆缘运移的路线上仍存在不少储量空白区，油气发现主要集中在沙三下亚段 9 砂组；同时，y141-x10、lx362 井等浊积岩油藏的勘探失利均表明了岩性油气藏沉积储层的复杂性，需要进一步理清有效储层的分布规律。为进一步推动地震沉积学技术在浊积岩油藏预测中的有效应用，本文在依托罗家 2017 三维高密度地震资料的基础上，以渤南洼陷南部缓坡带义 141-994 井区沙三下 9 砂组为研究对象，在沉积学的指导下，通过测井-地震综合对比，建立高精度等时地层格架；综合运用 Wheeler 域等时切片、波形聚类等地震沉积学关键技术对目的层浊积扇体进行精细解剖，明确了浊积岩沉积相带平面展布及沉积演化规律，并建立了浊积扇沉积微相并震识别模板。

2. 地质概况

渤南洼陷位于沾化凹陷东北部，属于济阳坳陷的一个三级负向构造单元，四周被凸起环绕，北临埕东凸起，以埕南断层为界；南面与罗家油田与陈家庄凸起相邻，西以义东断层为界与义和庄凸起相接，东临孤岛凸起，以孤西断层为界，整体呈“北断南超、北东走向”的不对称箕状构造格局(图 1)，自洼陷中心向南的斜坡带上发育 7 条东西向断层。渤南洼陷勘探面积约 800 km²，已发现馆陶组、沙河街组、古生界等多套含油层系，累计上报探明石油地质储量 1.9×10^8 t，沙三段是其主力含油层系。

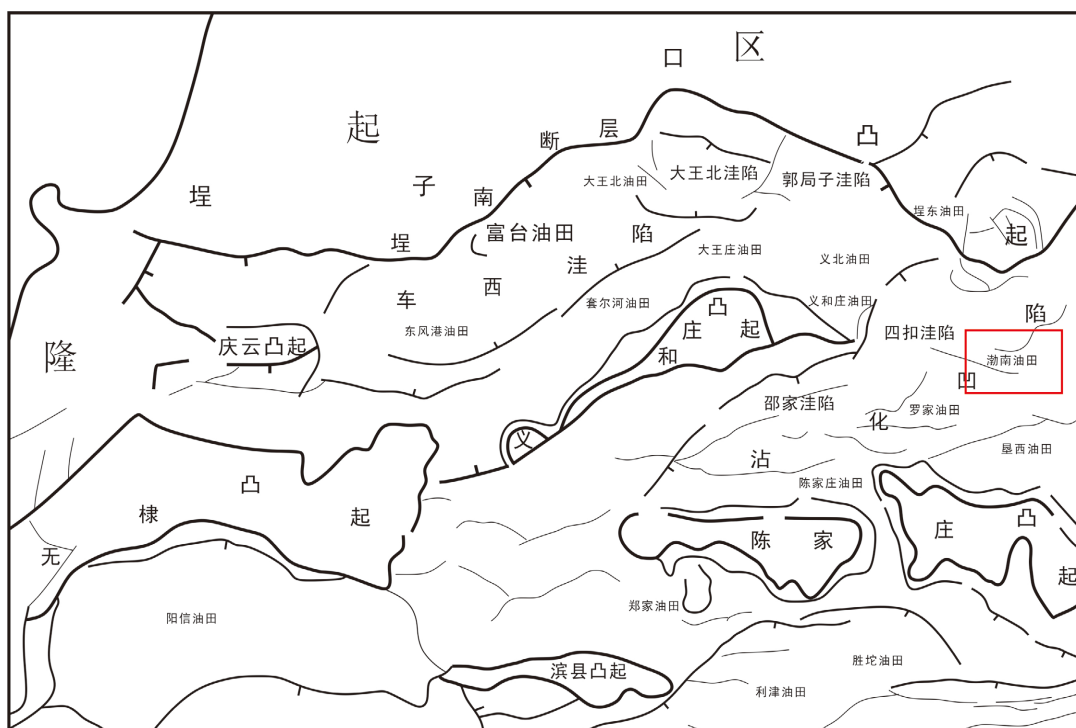


Figure 1. Structural location of the study area
图 1. 研究区构造位置图

2.1. 构造特征

义 141-994 井区位于渤南洼陷南部，主要发育近东西向、北东向、近南北向三组断层，是由一系列同沉积构造组成的典型“构造坡折带”发育区[15]。沙三段 9 砂组沉积时期，孤西断层已停止活动，主要发育一系列近东西向的盆倾断层，断距 20~200 m 不等，高点埋深 2750 m，最低点埋深 3420 m，形成由南向北呈阶梯状节节下掉的“抬斜”形态。大断层主要集中在研究区南部缓坡带的两侧，中部主要以发育近东西走向的小断层及分支、伴生断层为主，断距多为 5~20 m，对浊积岩的沉积微相展布起着主要控制作用。

2.2. 沉积特征

渤南洼陷自南部缓坡带向北逐渐发育缓坡扇 - 浅水浊流水道 - 深水扇根(网状分化水道) - 深水浊积扇中(网状河道) - 外扇的沉积模式[16] [17] [18]，研究区义 141-994 区块在沙三下亚段沉积时期基本处于水道稳定发育的深水浊积扇沉积阶段，属于缓坡水道型远岸浊积扇，可进一步细分为补给水道、内扇、中扇、外扇四类沉积亚相，局部发育无水道型浊积扇(图 2)。

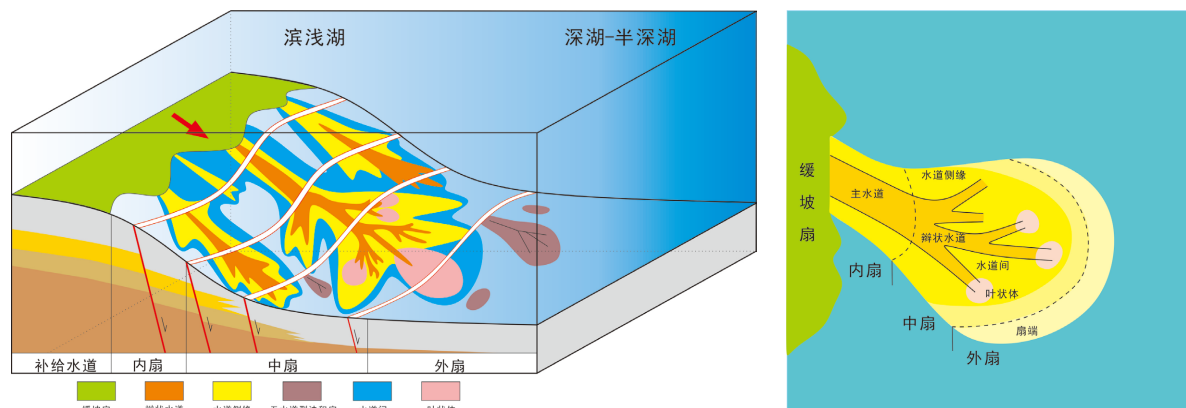


Figure 2. Sedimentary facies model of the turbidite fan

图 2. 浊积扇体的沉积相模式图

3. 地震沉积学研究

本文采用地震沉积学的技术思路，以渤南地区沙三段浊积岩为研究目标，通过对 29 口典型井精细地质 - 地震剖析，建立高精度等时地层格架，明确研究区浊积岩类型及平面发育特征；在此基础上，结合正演模拟明确浊积岩微相地震响应特征，建立井震综合识别模板；综合运用地层切片优选及融合等地震沉积学技术，明确各小层沉积演化特征；充分挖掘分方位叠前及全方位叠后高密度地震数据有效信息，开展全方位频率域波形聚类、分方位波形二次聚类分析，实现了相控约束下的浊积岩沉积微相精准刻画。

3.1. 井震联合，建立高分辨率层序地层格架

罗家 2017 三维地震资料是单点接收技术、全方位采集高密度三维地震数据，其五维、频带更宽，包含信息量丰富、保真度高、地震波形密度大，横向细节更丰富，能准确识别小断裂以及岩性边界。本文基于层序地层学理论，充分利用罗家 2017 三维地震资料的优势，结合工区典型井钻、测、录井资料，识别出沙三下 9 砂组 4 大等时标志层，在纵向上可将 9 砂组进一步细分为 3 小层： $Es_{3x}9^1$ 、 $Es_{3x}9^2$ 、 $Es_{3x}9^3$ 小层，其等时标志层特征如下：

1) 标志层 1 为 8 砂组底, 发育大套厚层(30~60 m)泥岩夹薄层(1~3 m)粉砂岩或粉砂质泥岩, 与上覆低速油泥岩之间可形成强地震反射界面 T5 (如图 3、图 4 所示), 测井曲线呈“3 高”特征(sp 曲线近平直状, GR 及 AC 曲线呈尖峰状箱形)。

2) 标志层 2 为 9² 砂组顶, 发育 2~10 m 深灰色泥岩夹薄层(1~2 m)灰质粉砂岩, 测井曲线呈“2 高 1 低”特征(SP、GR 高值、指状, AC 低值、低齿状)。

3) 标志层 3 为 9³ 顶, 发育 2~10 m 灰色灰质粉砂岩夹薄层深灰色泥岩, 测井曲线整体呈低幅微指状特征。

4) 标志层 4 为 10 砂组顶, 发育大套厚层(15~55 m)红褐色油泥岩, 测井曲线呈“3 高”特征(sp 曲线近平直状, GR 及 AC 曲线呈尖峰状钟形)。

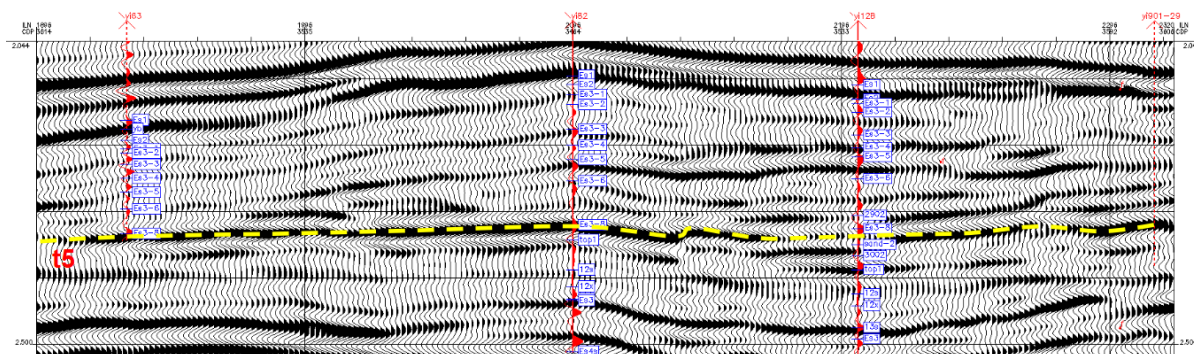


Figure 3. Seismic section through Y63-Y82-Y128

图 3. 过 Y63-Y82-Y128 井地震剖面图

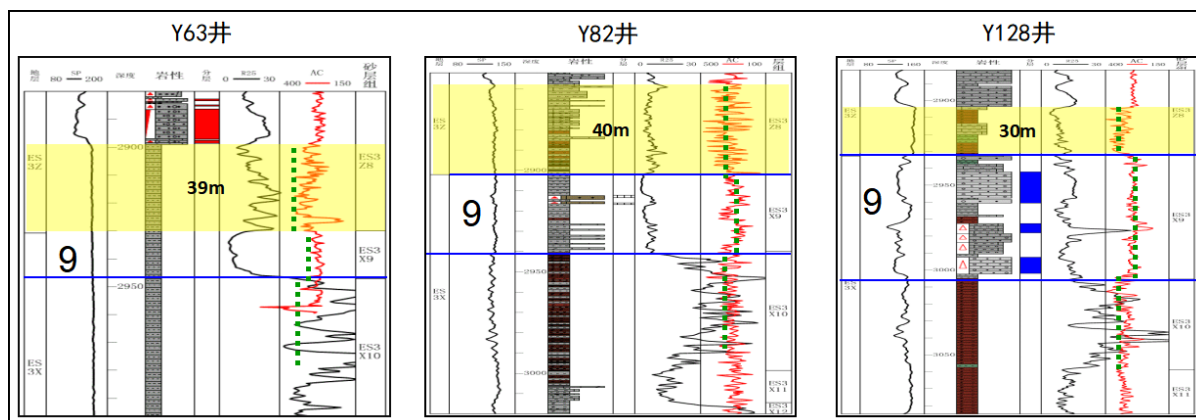


Figure 4. Sketch Map of Marker bed 1 (T5) logging characteristics

图 4. 标志层 1 (T5)测井特征示意图

从图 5 粒度分析图中可知, 研究区沙三段 9 砂组 C-M 图点群分布具有与 C=M 基线大致平行的特征, C 值与 M 值成比例增加, 变化幅度较大, 处于粒序递变悬浮沉积区; 粒度概率曲线中, 砂岩粒度 Φ 值 < 1 , 颗粒粒度较粗, 为滚动次总体, 整体百分比 $< 1\%$, 可见其斜率较低, 分选较差; 沙三段岩心中最常见的沉积构造是块状层理、粒序层理, 与之伴生的是大量的泥岩撕裂屑和泥砾。此外, 岩心中还常见各种类型的同沉积变形构造, 如重荷模、火焰构造、揉皱变形、液化砂岩脉、同沉积微断层等[19] (图 6), 也反映了沉积环境的不稳定; 综合研究认为研究区沙三下 9 砂组沉积类型为缓坡水道远岸浊积扇, 其中, 辫状水道微相是研究区主要发育的砂体类型(图 5)。

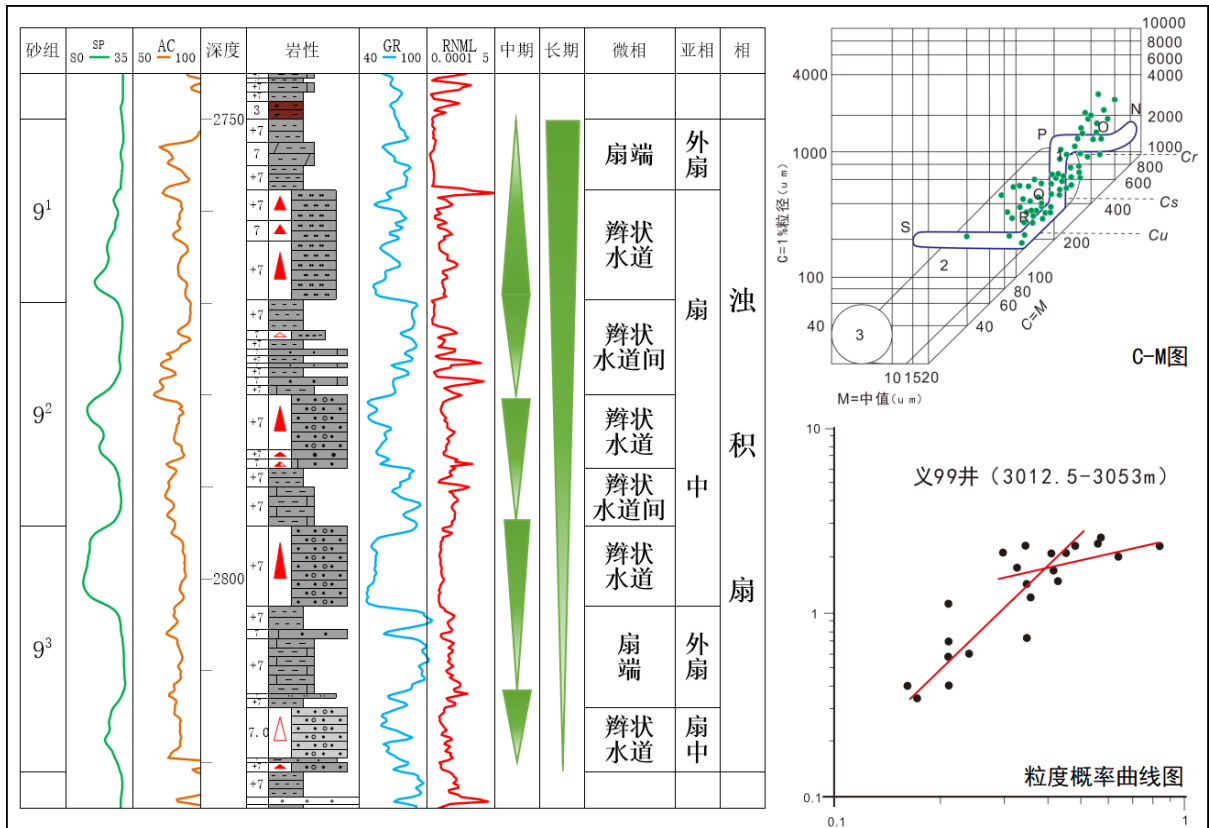
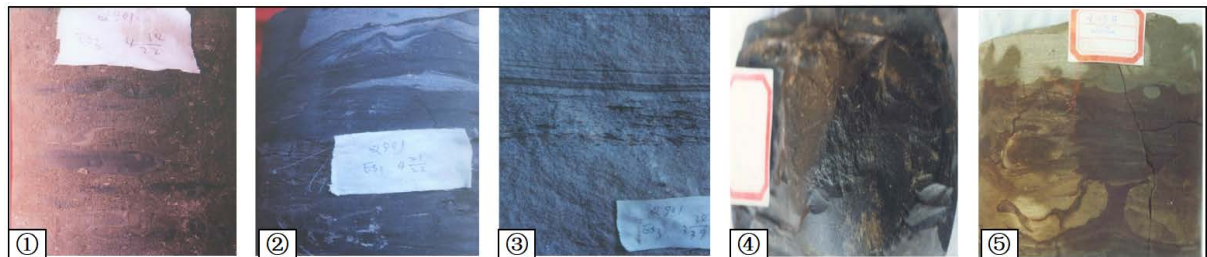


Figure 5. Single well column diagram, C-M diagram and Particle size probability curve of typical well in Lower Es_{3x9} Sand-body

图 5. 沙三下 9 砂组典型井单井柱状图、C-M 图及粒度概率曲线图



① y901 井, 2933.5m, 块状砂岩夹泥岩撕裂层; ② y901 井, 2936.2m, 褶皱变形构造; ③ y901 井, 2929.8m, 鲍玛序列(A-B 段)④ y115 井, 3956.4m, 重荷模构造; ⑤ y115 井, 3974.5m, 火焰构造及砂枕构造

Figure 6. Core diagram of typical well in Lower Es_{3x9} Sand-body

图 6. 沙三下 9 砂组典型井岩心图

根据研究区 4 大等时标志层, 分别选取平行主水道及垂直主水道的方向建立高精度连井地层格架, 如图 7、图 8 所示, 沙三段 9 砂组各小层砂体发育稳定, 近等厚分布(20~50 m), 由北到南呈逐渐减薄趋势, 砂体整体孤立性较强, 自东向西迁移, 东部义 65 井义东隔层相对较多, 发育三套, 但向西逐渐过渡为两层, 局部存在“网眼”, 水道宽度约 1 km 左右, 单砂层厚度为 5~15 m, 南部临近物源区, 砂体较厚(约 40 m), 单井钻遇厚度最大处可达 119 m。虽然南部钻井较少, 但从已有井资料分析, 向南砂体间“网眼”逐渐增多增大, 砂体侧翼均具有局部间断, 这表明砂体靠近物源方向水道分化趋势逐渐变大。

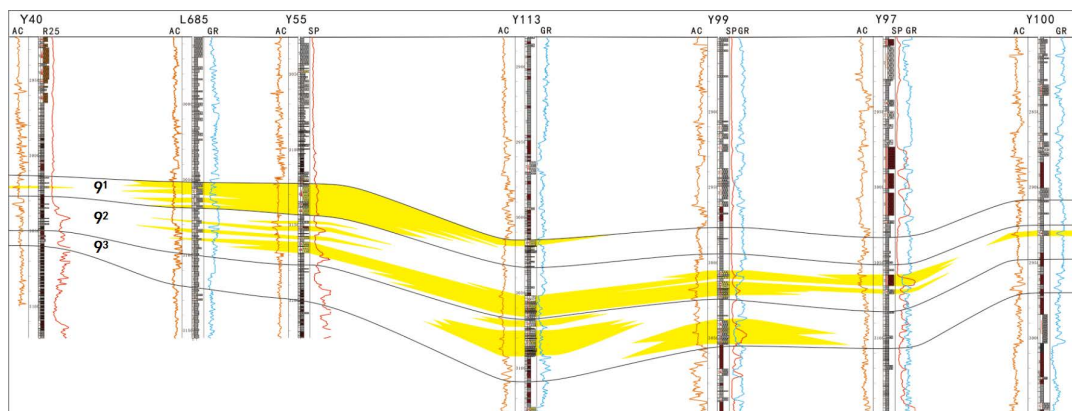


Figure 7. Well connection profile through y40-l685-y55-y113-y99-y97-y100

图 7. 过 y40-l685-y55-y113-y99-y97-y100 井连井剖面图

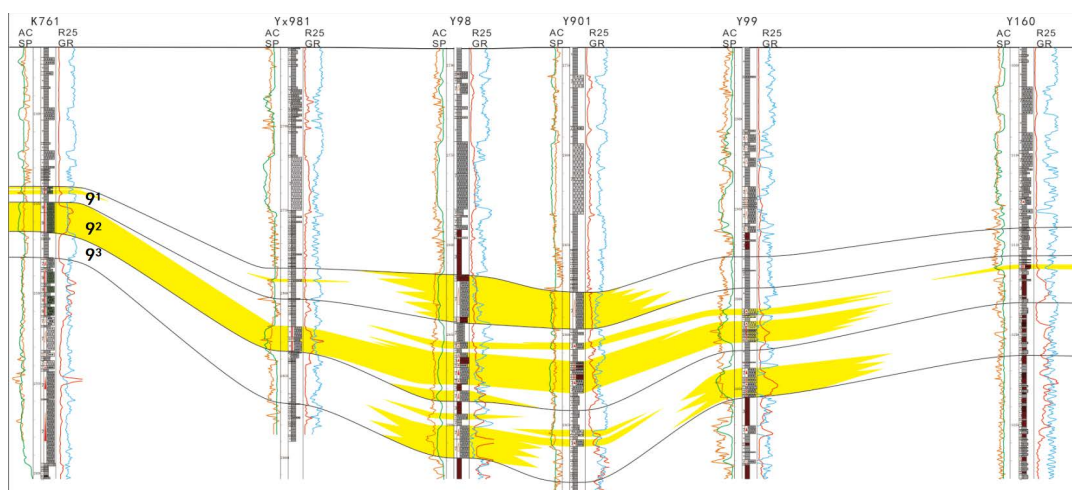


Figure 8. Well connection profile through k761-yx981-y98-y901-y99-y160

图 8. 过 k761-yx981-y98-y901-y99-y160 井连井剖面图

3.2. 正演模拟，分析油积岩地震响应特征

正演模拟是明确地层结构特征，降低地震多解性的有效技术手段之一[20] [21]。义 141-994 井区沙三下主力含油层段集中在 Es_{3x}9 砂组，由于浊积扇体沉积韵律复杂，垂向上不同岩相相互叠置，地震资料形成了复杂的干涉效应及响应差异性。本文通过系统分析研究区 15 口典型井沙三下 9 砂组的钻、测井资料，总结了目的层薄层沉积旋回及岩石物理特征，建立了浊积岩岩性组合的井震识别模板：9¹ 砂组上覆不等厚油泥岩，厚度范围在 30~60 m，平均 45 m 左右；9 砂组薄砂岩厚度范围为 3~25 m，平均 17 m 左右，泥岩夹层是最小为 1 m，最大为 38 m，平均 12 m 左右；最后根据实钻井的统计分析，得到了不同岩性速度区间： $V_{\text{油泥岩}} = 2500\sim 3500 \text{ m/s}$ ， $V_{\text{泥岩}} = 2800\sim 3800 \text{ m/s}$ ， $V_{\text{砂岩}} = 3500\sim 4000 \text{ m/s}$ 。

针对总结的岩性组合，结合实钻井速度及密度参数，通过开展波动方程地震正演模拟，建立了不同主频下(分别选取 25 Hz、35 Hz、45 Hz 的雷克子波)的切水道方向正演模型。正演结果表明，地震主频与 9 砂组薄层砂体及泥岩厚度呈反比：主频越高，可识别的薄砂层及泥岩隔层厚度越小，当地震主频 45 Hz 时，地震反射轴表现为强反射，可识别砂体能力最强，岩性临界干涉厚度最小；同时，研究发现，波形和频率属性参数对沉积相带变化敏感度更高，随着沉积微相从水道过渡为水道间及水道侧缘，地震响应瞬时频率值及波形反射会出现由强变弱的规律(图 9)。

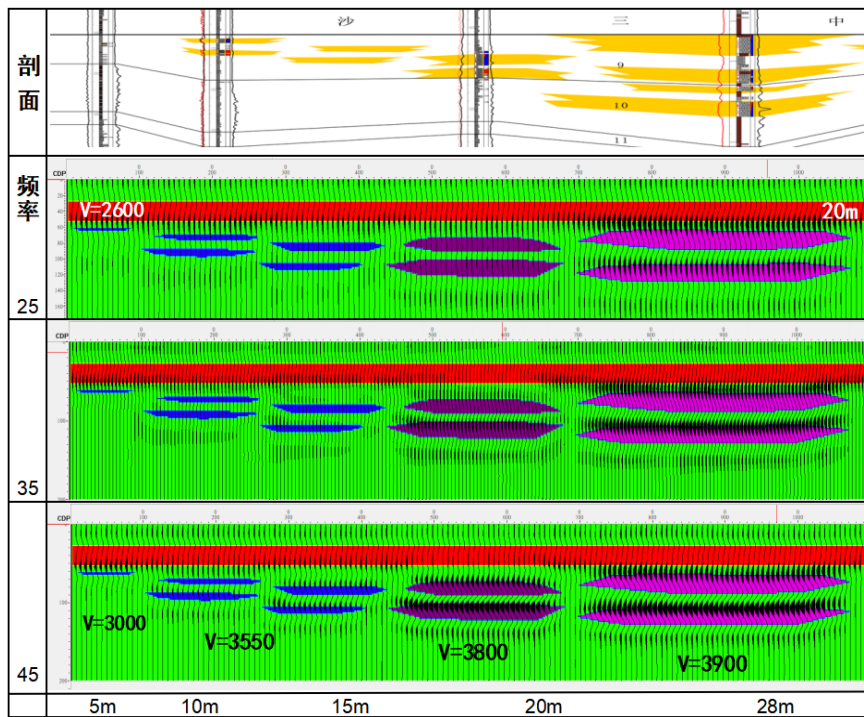


Figure 9. Seismic response characteristics through y82-y142-y141-y98
图 9. 过 y82-y142-y141-y98 井地震响应特征

从过 135-50-y82-y142-y141-y149-y98 井的储层地震反射特征来看，浊积岩辫状水道发育区地震剖面为透镜状反射，呈 2 个以上完整的波形；水道侧缘泥质含量增多、砂体存在缺失，地震剖面呈高频强反射特征，单砂体通常表现为单个波形反射，随着砂体厚度变薄，地震反射频率变高，当泥质隔层增厚时出现小的“眼球”状反射；同时，根据地震相分布规律发现，浊积岩多发育于断层下降盘，浊积水道被多套顺向断层切割，呈层层“断节香肠状”发育。y141-x10 井在 3081.8~3088.8 m 和 3106~3124.8 m 钻遇两套灰白色荧光含砾砂岩，合成记录标定分别对应“眼睛”反射上下两个反射，井点储层和钻前预测完全一致。稳定砂体的侧缘分支水道发育叠置砂体时出现小的“眼球”（透镜状）反射，而砂体变化处为高频强反射，与预测结果一致(图 10)。

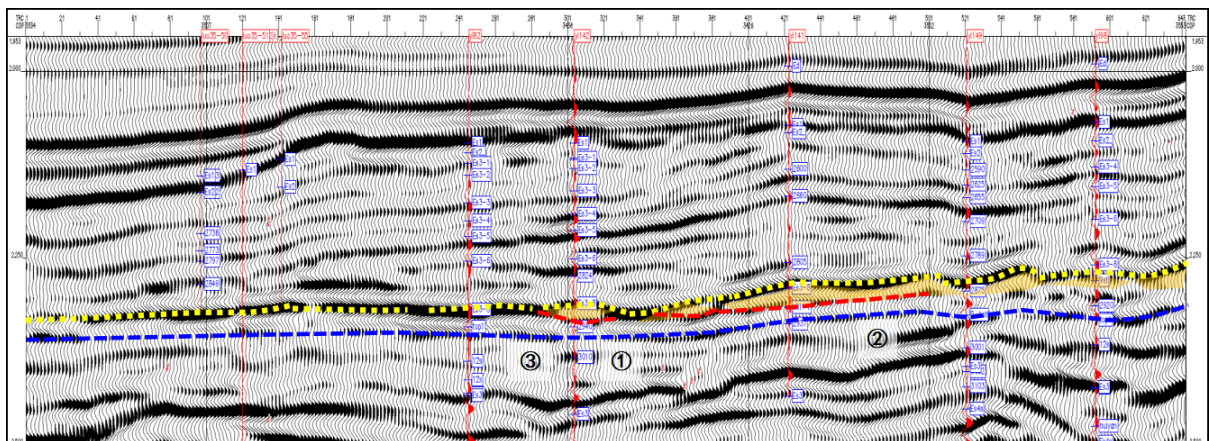


Figure 10. Seismic response characteristics through y82-y142-y141-y98
图 10. 过 y82-y142-y141-y98 井地震响应特征

在地质模式的指导下,综合研究区浊积岩各微相岩性、测井、地震的差异性,建立了浊积岩沉积微相并震识别模板(图 11),如图所示,由于辫状水道和水道侧缘微相垂向相互叠置,地震资料差异特征较小,需要通过地层切片等地球物理技术进一步展开精细划分。

典型井	岩心相		测井相		地震相				沉积微相	
	岩心序列	岩心描述	测井曲线	特征	频率	连续性	结构	地震剖面		
k629		碎屑支撑砾岩、可积及砾泥层等,由泥质物组成		齿状钟形箱形 Sp高 AC、GR中幅	高频 强反射	断续	空白反射		补给水道	
k9		巨厚混杂砾岩或砂砾岩组成,厚度大于20m		箱形 Sp高 AC、GR中幅	中-高频 强反射	蠕虫状 连续	空白及 弱反射		主水道	内扇
y99		底部见杂乱细砂砾岩,向上发育层理		齿状指形 SP GR AC高	低频 中-强反射	双波状 断续	细线形		水道侧缘	扇
y141		砾岩或含砾砂岩,厚度大于10m。		箱形 微幅齿状 SP GR AC低	中-高频 强反射	连续	“眼球状” 反射		辫状水道	中
y142		水道特征不明显,细砂岩含砾砂岩互层		指状 漏斗形 SP GR AC低	低频 中-强反射	连续性差	细线形		水道间	
y82		大套泥岩夹细砂岩或粉砂岩,发育砂岩		低幅锯齿状 平直状 SP、AC低 Gr高	低频 强反射	连续	粗线形		扇端	外扇

Figure 11. Comprehensive interpretation chart of seismic facies and sedimentary facies in Lower Es3x9 Sand-body of Yi141-994 block

图 11. 义 141-994 区块沙三下亚段 9 砂组地震相与沉积相综合解释图版

3.3. Wheeler 域等时分析, 明确小层演化规律

基于高频等时地层格架[22],结合实钻井合成记录标定进行校正,利用 wheeler 域地震转换技术[23],以 9 砂组顶、底为约束,将时间域地震数据转换为 wheeler 域等时数据体。将 Wheeler 域等时地层切片结合目的层砂厚图,展示了沙三下 9 砂组各小层的多期水道展布规律(图 12):从切水道方向的连井剖面可知,主水道呈现自东向西迁移趋势,主力储层集中发育于 9²、9³ 小层,沉积砂体呈透镜状发育,彼此之间存在间断;顺水道连井剖面上,水道迁移变化频繁,但辫状水道发育较为稳定,水道厚度中心主要在南部,交错沉积,下部储层较发育,横向迁移快。Wheeler 域等时切片虽然能达到刻画砂体展布规律的效果,但是对于浊积岩内部储层变化描述不够精准,需要结合聚类分析图进行综合预测。

3.4. 聚类分析, 精确预测沉积微相

在前文分析总结研究区构造及沉积特征的基础上,以“相”为三维地震反射单元,提取地震波波形中的振幅、频率及相位等参数,按照相似性归类法对地震波形差异性属性特征之间的相似度进行计算[24][25],对研究区 9 砂组地震道形状进行划分;同时,以井旁道大数据为约束,采用神经网络算法达到精细刻画浊积岩沉积微相砂体边界的效果。从图 13 波形聚类分析图中可以预测出,辫状水道(图中红色区域)、辫状水道间(图中蓝色区域)、水道侧缘(图中绿色区域),义 141-994 区块主体区域位于辫状水道沉积微相,根据预测的扇体展布边界,与实钻井吻合率达到 88.9% (见表 1),同时应用地震沉积学方法在研究区块共

发现有利圈闭面积 16 km²，取得了良好的实际应用效果，成功拓展了义 141-994 区块的储量规模，对胜利油田薄层储层预测提供了借鉴依据。

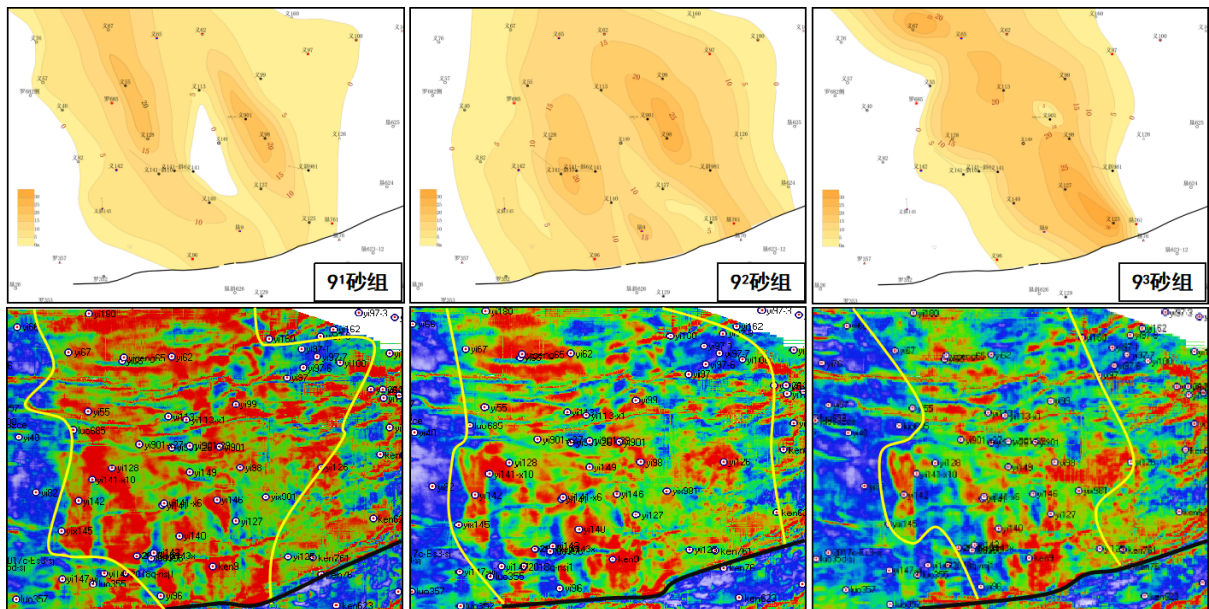


Figure 12. Schematic diagram of comparison between sand thickness map and isochronous slice of Wheeler domain in Lower Es_{3x9} Sand-body of Yi141-994 block

图 12. 义 141-994 区块沙三下亚段 9 砂组砂厚图与 Wheeler 域等时切片对比示意图

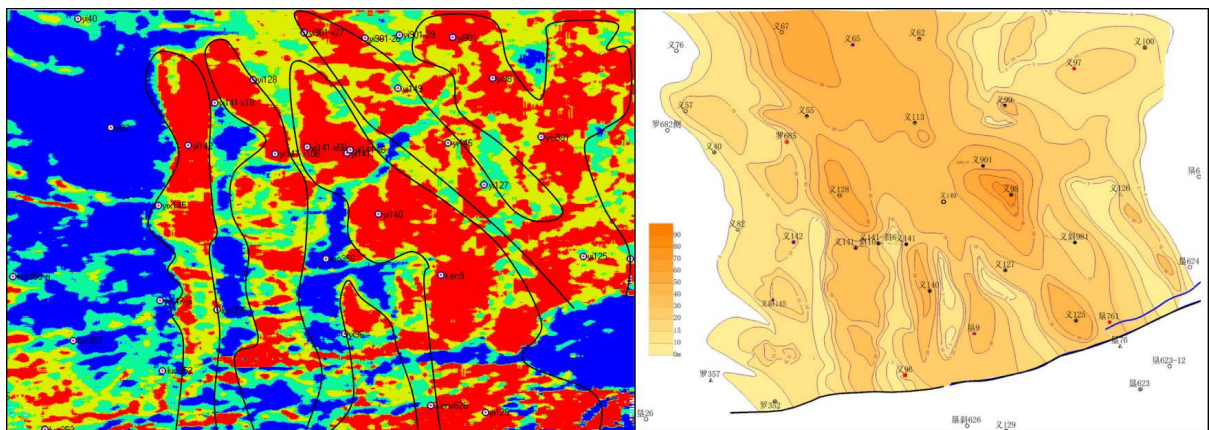


Figure 13. Waveform clustering diagram and sand body thickness diagram in Lower Es_{3x9} Sand-body of Yi141-994 block

图 13. 义 141-994 区块沙三下亚段 9 砂组波形聚类分析图与砂体厚度图

Table 1. Statistics of prediction error of sedimentary microfacies of real drilling in Yi141-994 block

表 1. 义 141-994 区块实钻井沉积微相预测误差统计

井号	岩性	预测沉积微相	实际发育相带	匹配
Y149	细砂岩、含砾细砂岩	辫状水道	辫状水道	√
Y140	含砾细砂岩、粗砂岩夹薄层细砂岩	辫状水道	辫状水道	√
Y141	含砾细砂岩	辫状水道	辫状水道	√
Y142	细砂岩夹薄层泥质粉砂岩、含砾细砂岩	水道侧缘	水道侧缘	√

Continued

Y82	泥质细砂岩、粉砂岩、泥岩	水道间	水道侧缘	×
Y128	粗砂岩、含砾砂岩、砾岩	补给水道	补给水道	√
Y127	粗砂岩、含砾砂岩	水道侧缘	水道侧缘	√
Y149	细砂岩夹薄层泥岩、泥质粉砂岩	辫状水道	辫状水道	√
L356	泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩	水道间	水道间	√

4. 结论

本文从渤南地区沙三 9 砂组水道型浊积岩特殊的地质和井震特征出发, 通过综合运用正演模拟、Wheeler 域等时切片、波形聚类地震沉积学研究方法, 构建了浊积岩沉积微相识别技术, 即“地貌特征控大相、等时格架定亚相、多属性融合描微相”; 同时, 在研究过程中形成了以下几点认知:

1) 渤南地区沙三 9 砂组浊积水道地震反射呈眼球状特征, 常规地层切片难以保证地质等时和消除小层干涉影响。本次研究以地震沉积学建立等时地层格架为基础, 通过岩心、测井、地震综合分析, 优选顺/切水道方向地层切片降低邻层干涉作用, 突出目的层信息, 可得到更为准确的小层砂体沉积演化结果。

2) 以相控为约束的频率域的浊积岩相带刻画技术, 充分挖掘了水道型浊积岩在不同方位、频率上的信息差异, 实现了浊积岩沉积微相的精细刻画。通过 Wheeler 域等时切片与波形聚类属性相结合, 能准确精细刻画不同期次浊积扇体横向边界, 反映水道展布特征; 同时, 经义 141-994 区块实钻井验证, 吻合度较高, 在井网稀疏的研究工区, 能够达到准确预测沉积相带发育范围的效果。

参考文献

- [1] 中石油勘探与生产分公司. 岩性地层油气藏勘探理论与实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
- [2] 沈正春, 张云银, 魏红梅, 张建芝, 罗荣涛, 王甜, 等. 东营凹陷沙三中亚段超隐蔽浊积岩储层描述方法及应用[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(18): 7167-7175.
- [3] 苏朝光, 刘怀山, 王树华, 罗霞, 朱定蓉. 深水浊积扇成藏地质条件及地震描述技术[J]. 天然气工业, 2008, 28(4): 33-36.
- [4] 雷蕾, 韩宏伟, 于景强. 近岸水下扇沉积样式及地震响应特征新认识[J]. 石油地球物理勘探, 2019, 54(5): 1151-1158.
- [5] 董春梅, 张宪国, 林承焰. 有关地震沉积学若干问题的探讨[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(4): 405-409.
- [6] 曾洪流, 朱筱敏, 朱如凯, 张庆石. 陆相断陷型盆地地震沉积学研究规范[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(3): 275-284.
- [7] 朱筱敏, 董艳蕾, 曾洪流, 黄捍东, 刘强虎, 秦祎, 等. 沉积地质学发展新航程——地震沉积学[J]. 古地理学报, 21(2): 189-201.
- [8] 朱筱敏, 董艳蕾, 曾洪流, 林承焰, 张宪国. 中国地震沉积学研究现状和发展思考[J]. 古地理学报, 2020, 22(3): 397-410.
- [9] 曾洪流. 地震沉积学在中国: 回顾与展望[J]. 沉积学报, 2011, 29(3): 419-426.
- [10] 张玺华, 陈洪德, 侯明才, 杨经栋, 林良彪, 陈安清, 等. 四川盆地西部新场地区须家河组四段 9 砂组地震沉积学[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 95-101.
- [11] 栗宝鹃, 董春梅, 林承焰, 程俊阳, 任丽华, 郭威. 不同期次浊积扇体地震沉积学研究: 以车西洼陷缓坡带车 40-44 块沙三上亚段为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2016, 46(1): 65-79.
- [12] 林承焰, 张宪国, 董春梅. 地震沉积学及其初步应用[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 69-72.
- [13] 刘书会, 宋国奇, 杨培杰. 地震沉积学在陆相盆地中的应用: 东营三角洲勘探实例[J]. 石油地球物理勘探, 2014, 49(2): 360-368+222-223.

- [14] 刘长利, 朱筱敏, 胡有山, 廖飞燕, 王正国. 地震沉积学在识别陆相湖泊浊积砂体中的应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(3): 657-664.
- [15] 林畅松, 潘元林, 肖建新, 孔凡仙, 刘景彦, 郑和荣. “构造坡折带”: 断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260-265.
- [16] 张晶, 刘化清, 李双文, 冀虎山, 袁淑琴. 断陷湖盆深水重力流水道的识别标志及沉积相模式: 以岐口凹陷岐南斜坡沙一段为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(3): 701-711.
- [17] 郑荣才, 文华国, 韩永林, 王海红, 郑超, 蔡家兰. 鄂尔多斯盆地白豹地区长 6 油层组湖底滑塌浊积扇沉积特征及其研究意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2006, 33(6): 566-575.
- [18] 赵宁, 黄江琴, 李栋明, 吴向红, 黄奇志. 远源缓坡型薄层细粒浊积岩沉积规律——以松南西斜坡大布苏地区青一段地层为例[J]. 沉积学报, 2013, 31(2): 291-301.
- [19] 田媛, 钟建华, 王书宝, 陶红胜, 刘韶光, 李勇, 等. 鄂尔多斯盆地富县探区三叠系延长组震积岩及其地质意义[J]. 古地理学报, 2015, 17(4): 541-552.
- [20] 邓国成. 利用正演技术识别地震解释中的假象[J]. 地球物理学进展, 2019, 34(1): 64-68.
- [21] 王文枫, 岳大力, 赵继勇, 王武荣, 李伟, 王博. 利用地震正演模拟方法研究地层结构——以鄂尔多斯盆地合水地区延长组三段为例[J]. 石油地球物理勘探, 2020, 55(2): 411-418.
- [22] 朱红涛, 杨香华, 周心怀, 李建平, 王德英. 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 YG3-1 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.
- [23] 刘洪文, 杨培杰, 刘书会, 毕俊凤. 地震 Wheeler 转换技术及其应用[J]. 石油物探, 2012, 51(1), 51-55.
- [24] 姜蕾, 张云银, 林中凯. 敏感属性融合技术预测深部薄互层砂岩——以临南地区沙三下亚段河道砂体为例[J]. 新疆石油地质, 2019, 40(6): 725-730.
- [25] 孔省吾, 张云银, 沈正春, 张建芝, 魏红梅, 宋艳阁, 等. 波形指示反演在灰质发育区薄互层浊积岩预测中的应用——以牛庄洼陷沙三中亚段为例[J]. 物探与化探, 2020, 44(3): 665-671.