

渤海湾盆地济阳坳陷 油藏地震描述有效性技术研究

郭元岭¹, 刘翠荣¹, 李红梅², 江洁²

(1.中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083;2.中国石化胜利油田分公司物探研究院,山东 东营 257100)

摘要:通过大量钻井与地震资料的对比分析,提出了渤海湾盆地济阳坳陷现阶段 5 种油藏类型三维地震描述的有效技术系列。基于高精度等时地层格架的保幅拓频处理、叠前叠后敏感属性融合应用、含油气性综合判识等是河道砂岩油藏地震描述的有效技术。测井约束层序细分、沉积微相随机模拟结合阻抗岩相概率体识别沉积微相与岩石相、相控约束多参数预测有效储层等技术,可有效应用于砂砾岩扇体油藏的地震描述。在提高分辨率处理的基础上,采用多属性融合技术,可以预测滩坝砂岩油藏的有效储层。甜点属性、地震波形指示反演、叠前弹性参数反演、岩性概率反演等技术,可有效描述浊积砂岩油藏。通过断层增强处理,应用多属性体联合识别断层,进行断层平面组合优化、空间立体解释等可以精细刻画复杂断块油藏。技术有效性是随着地震资料精度和品质以及地质条件的变化而变化的。

关键词:河道砂;砂砾岩体;浊积岩;滩坝砂;复杂断块;地震描述;济阳坳陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE321

文献标识码:A

Effective techniques for seismic description of reservoirs in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin

GUO Yuanling¹, LIU Cuirong¹, LI Hongmei², JIANG Jie²

(1.SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2.Geophysical Research Institute of SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying, Shandong 257100, China)

Abstract: A series of 3D seismic descriptions for five reservoir types in the Jiyang Depression of Bohai Bay Basin was proposed based on the comparison and analysis of a large amount of drilling and seismic data. The effective techniques for seismic description of channel sandstone reservoirs include amplitude preserving and frequency extension processing based on high-precision isochronous stratigraphic framework, fusion of pre-stack and post-stack sensitive attributes, and comprehensive identification of oil and gas potential. Logging constrained sequence subdivision, sedimentary microfacies and lithofacies identifications by stochastic simulation and probability body subdivision of impedance lithofacies, and phase constrained multi-parameter prediction of effective reservoir can be effectively applied to seismic description of a conglomeritic fan reservoir. On the basis of improving processing resolution, multi-attribute fusion technology can effectively predict the effective beach bar sandstone reservoirs. The techniques such as “sweet spot” attribute analysis, seismic waveform indication inversion, pre-stack elastic parameter inversion, lithology probability inversion can effectively describe turbidite sandstone reservoirs. Fault enhancement processing, multi-attribute body joint identification of faults, optimization of fault plane combination and spatial three-dimensional interpretation can precisely describe complex fault block reservoirs. The technical effectiveness varies with the accuracy and quality of seismic data and the changes of geological conditions.

Key words: channel sand; glutenite; turbidite; beach bar sand; complex fault block; seismic description; Jiyang Depression; Bohai Bay Basin

1 研究现状

预测、控制储量长期未能升级,究其原因,一是

对地震描述技术不适应,对油藏地质特征的认识不准确,后续钻井落空;二是钻井与储层改造等工程技术不适应,单井产量难以达到效益界限,后续无法实

施开发动用;三是地面条件不允许。统计表明,渤海湾盆地济阳拗陷由于油藏地震描述技术不适应,导致 5 年以上未升级的预测石油地质储量占 47%,3 年以上未升级的控制石油地质储量占 43%。因此,研究针对不同类型油藏的地震描述适应性技术,有助于盘活低级别储量资源,进一步提高勘探成功率。

随着勘探开发程度的不断提高,济阳拗陷当前阶段发现的油藏越发呈现“小、碎、薄、深”的特点,对地震描述技术也提出越来越高的要求。本文通过 72 块三维地震资料以及三维区内 1 429 口探井资料的对比分析,开展了河道砂、砂砾岩扇体、浊积岩、滩坝砂、复杂断块等 5 种类型油藏相关地震描述有效技术分析,优选出有效的地震描述技术系列。

2 油藏地震描述技术分析

2.1 河道砂岩油藏

新近纪拗陷期辫状河、曲流河河道砂岩油藏主要分布在济阳拗陷东北部的沾化凹陷东部及滩海地区,以馆陶组为主,埋藏较浅,砂岩固结较差、疏松易碎,孔隙性好;泥岩成岩固结好,孔隙度低。埕岛地区泥岩密度 $2.0 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$,含气砂岩密度 $1.85 \sim 1.95 \text{ g/cm}^3$,含油砂岩密度 $1.95 \sim 2.03 \text{ g/cm}^3$ 。砂岩油层平均速度 $2\ 710 \text{ m/s}$,水层平均速度 $2\ 900 \text{ m/s}$ 。该类砂体尤其是含油砂体因速度降低,导致其与上覆泥岩段的波阻抗差异明显,在剖面上振幅变强。河道砂岩油藏的有利分布区已被高精度三维地震覆盖,面元网格 $25 \text{ m} \times 25 \text{ m} \sim 25 \text{ m} \times 12.5 \text{ m}$,覆盖次数 $135 \sim 320$ 次,地震资料品质较好,油藏识别描述能力较强。当前的主要问题是高砂地比储层预测及河道砂岩含油性检测。经过大量井震对比分析,认为基于高精度等时地层格架的保幅拓频处理、叠前叠后敏感属性融合应用、含油气性综合判识等,可以作为现阶段河道砂岩油藏地震描述的有效技术。

(1) 基于高精度等时地层格架的保幅拓频处理。河流相砂体空间变化快,受砂岩厚度和边界突变的影响,地震相位容易产生干涉穿时、中断、能量突变等情况。开展河道砂岩的地震描述,首先需要充分利用钻井资料,通过井震标定,做好高分辨率地层层序划分,建立以骨干钻井剖面为约束的区域层序地层格架;其次通过保幅拓频处理,提高地震主频,压制层间干涉,实现层序界面等时连续追踪,可有效识别砂体之间的泥岩隔层,从而预

测储层分布。

(2) 河道砂岩敏感属性分析。通过正演模拟,结合井震对比,分析振幅、频率、波形类等属性对储层的敏感性机理。例如,压实致密的泥岩与下伏孔渗物性较好的含油砂岩之间的界面往往形成强振幅,厚度大于 7 m 的砂岩顶面的强反射,其波形较为圆滑、弧长大;厚层泥岩间夹的薄层砂岩或薄层灰岩—灰质泥岩形成的强反射,其波形尖锐、弧长小;砂体物性较为一般的多表现为中强振幅,厚度小于 5 m 的薄储层或储层欠发育时一般表现为弱反射或空白反射^[1]。埕岛、垦东地区的统计表明,河道砂岩储层厚度与振幅属性之间具有较好的正相关性。在此认识基础上,利用 Geoframe 软件提取相关属性,例如最大振幅、累加振幅、均方根振幅、主频、瞬时频率、弧长、相位等,对比每种属性与河道砂岩厚度之间的相关性,发现均方根振幅与厚度的相关系数最高,达 94.6% (图 1)。据此,可以优选出目标区及目的层的敏感属性并进行组合使用。正演模拟表明,砂体在平面上的横向变化点多对应振幅、频率属性的突变点,同时相位、波形也发生变化。在纯波剖面上,砂体边界特征更明显。因此,优选纯波数据的振幅、频率、相位、波形等类型属性进行聚类分析,可以有效刻画砂体边界。

(3) 储层含油性综合判识。井震数据对比分析发现,厚度与物性相接近的河道砂体之间的均方根振幅,含气砂体 > 含油砂体 > 含水砂体,表明利用振幅属性开展油气检测存在多解性,因此,需要结合区域成藏地质规律进行综合判识。实践表明,济阳拗陷东北部新近系河道砂体的油气分布,一方面受区域构造背景及局部微幅构造控制,构造高部位有利于油气聚集;另一方面受油源断层的控制,

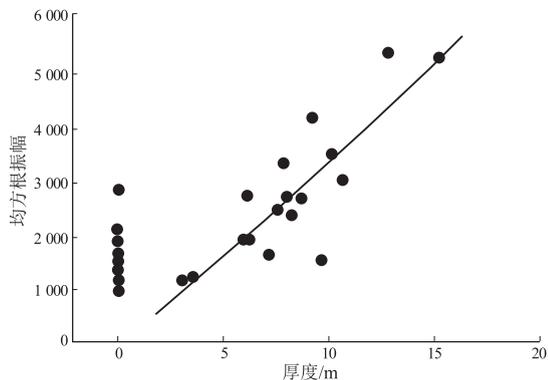


图 1 渤海湾盆地济阳拗陷埕岛东部馆陶组砂岩厚度与均方根振幅关系

Fig.1 Relationship between sandstone thickness and root mean square amplitude of IV 3 in upper Guantao Formation, eastern Chengdao, Jiyang Depression

凡是直接或间接被沟通沙河街组油源层系且在新近纪成藏期仍然持续活动的油源断层切割的砂体,油气充满度都较高。同时,在有利的油气聚集区,砂岩厚度越大,油层厚度越大。浅层河道含油砂体在叠前地震资料上具有低纵波速度、较高横波速度、低纵波阻抗、低 $\lambda\rho$ 、低纵横波速度比、低泊松比等特征,因此,通过岩石物理分析,利用叠前地震反演技术分析速度参数及弹性参数,可以有效识别河道砂体的含油气性,这一方法与AVO技术有相同的理论基础。另外,还可以分析不同流体的频谱特征,利用吸收衰减特征判别油气水层。

2.2 砂砾岩扇体油藏

济阳拗陷在古近纪断陷期发育形成了北断南超的箕状凹陷,在凹陷北部陡坡边界断层下降盘沉积形成了扇三角洲、近岸水下扇等类型为主的砂砾岩扇体,受物源供给、沉积古地貌、水深等影响,多期扇体沿边界断层在纵向上连续叠置,在平面上叠合连片^[2-5]。一般规律是,大的古地貌冲沟前端沉积的扇体规模也较大,但随着水体变深,古冲沟之间的水下高地上也会形成砂砾岩体的沉积聚集。由于搬运距离较短,古地貌及物源等条件差别大,砂砾岩扇体的储层空间非均质性强烈^[6]。扇体厚度变化大,一般从几十米至几百米;储层从厚度小于一米的砂岩到大于几十米的含砾砂岩、砾岩都有分布;岩石矿物成分复杂,孔渗物性变化大,孔隙结构复杂。砂砾岩扇体油藏纵向跨度大,从1 000~4 000 m均有分布;速度区间跨度大,分布在2 400~5 400 m/s,且随深度增加而增大。泥岩围岩速度1 800~4 500 m/s,砂砾岩与泥岩之间速度差异明显。济阳拗陷砂砾岩扇体分布的有利区已被高精度三维地震覆盖,地震资料品质较好。例如,东营凹陷北部陡坡带东段永新地区二次采集的高精度三维地震,面元网格5 m×5 m~25 m×25 m,覆盖次数高达600次,跑道密度96万道/km²,砂砾岩扇体层段有效频带范围8~86 Hz,主频29 Hz。

经过近30年的勘探开发,规模较大、顶面具有较好背斜形态的砂砾岩扇体油藏多数已被发现,目前的勘探对象更多的是以有利构造背景不明显、成藏主要依靠岩性物性界面封隔为主的扇体。以往利用包络面识别、扇体边界识别及沉积亚相划分为主的地震描述技术,越来越不适当当前的勘探形势,迫切需要建立不同沉积期次非均质砂砾岩扇体有效储层预测技术系列^[7]。当前的主要问题是扇体纵向期次精细划分与有效储层识别,实践表明,纵向上测井约束细分层序、平面上沉积微相随机模

拟结合阻抗岩相概率体细分沉积微相与岩石相、相控约束多参数预测有效储层等技术,是现阶段砂砾岩扇体油藏描述的有效技术。

(1)测井约束下砂组级小尺度沉积期次地震地层格架划分。钻井证实,每一个连续沉积的砂砾岩扇体都会形成一个独立的地震反射单元,其反射系数、反射结构、几何外形、振幅、频率、连续性等均不同于相邻的扇体反射单元。这种较强的可对比性奠定了砂砾岩扇体沉积期次划分的基础,成为以往陡坡带勘探的工作基础。但随着勘探程度的提高,纵向上需要进一步细分,建立砂组—砂体级别的扇体等时地层格架,才能满足现阶段精细勘探的需要。为此,首先综合钻、测、录井资料,通过频谱分析,以测井曲线小波变化结合fisher曲线进行钻井资料砂组—砂体划分;其次,运用EMD分解技术^[8-9],依据井震分量相关性进行地震时频采样并实现高精度标定,通过井震标定做好EMD分量优选并确定分解参数。通过这两项工作,可以实现井间地震的层序细分,建立起砂组—砂体级地层格架,在此基础上,可以对砂组—砂体开展储层有效性预测研究。

(2)沉积微相随机模拟结合阻抗岩相概率体识别沉积微相与岩石相。在过去的勘探部署研究中,一般是将砂砾岩扇体在平面上划分为扇根、扇中、扇端3个沉积亚相^[10]。利用细分的砂组—砂体级层序,开展沉积微相随机模拟,可进一步细分其沉积微相。具体可分为4个步骤:一是通过井震资料的结合明确各微相的岩性、电性以及地震反射特征,形成沉积微相在地震资料中的训练图像;二是利用多点地质统计学方法整合多种类型数据,大幅度提高储层横向分辨率;三是根据沉积微相与岩石相的对应关系,例如,辫状水道微相发育砂砾岩相、主水道微相发育中细砂岩相、扇端泥岩微相发育泥质岩相、辫状水道间微相发育砂质泥岩相、前缘微相发育泥质砂岩相等,可以利用地震资料识别出岩石相分布范围;四是统计钻井岩石相类型及与之对应的波阻抗数据,确定不同波阻抗值所反映的岩相百分比,通过井间插值,得到阻抗岩相概率体,结合沉积微相随机模拟结果,可以更好地在平面上反映沉积相带及岩相带展布特征,纵向上则体现相变及岩性变化规律。

(3)相控约束多参数拟合预测砂砾岩扇体有效储层。通过分析钻井储层物性参数与地震属性参数之间的相关性,选取敏感属性进行组合,对储层物性参数进行预测,可以明确有效储层发育区。

例如,构建储层“孔隙度×厚度”地质参数,分析该参数的敏感属性并进行组合,在沉积微相模型约束下分析组合属性的空间分布,可以预测砂砾岩扇体有利储层分布。总体来讲,扇中亚相的辫状水道微相是砂砾岩扇体有效储层发育的有利部位,水道主体储层厚度大、物性好,孔隙度一般大于 6%,更有利于油气富集高产(图 2)。

2.3 浊积岩油藏

济阳拗陷古近纪断陷期半深湖沉积的三角洲、扇三角洲前缘滑塌浊积岩,以及深湖环境沉积的重力流浊积水道砂岩,历来是岩性油藏勘探的主要储层类型之一^[11-12]。滑塌浊积岩厚度相对较大,砂泥岩界面的波阻抗差异明显,砂体较易识别,勘探程度已经很高。深水浊积岩中呈现“泥包砂”透镜状反射特征的砂体,地震响应呈短促、强反射,易于识别,勘探程度也较高。而深水环境中以砂泥岩薄互层形式存在的浊积岩则呈现有零星透镜体反射、连续长反射、席状披盖反射、复合透镜反射和不规则杂乱反射等多种反射特征,是当前阶段浊积岩勘探开发的主要类型。尽管深注带浊积岩发育区已被高精度三维地震覆盖,但由于埋藏较深(2 500~3 800 m),目的层的地震主频为 20~35 Hz,若按 $\lambda/4$ 作为分辨顶底反射的极限,仅能分辨厚度 25~30 m 的砂体;以 $\lambda/8$ 作为分辨极限,则能分辨 13~15 m 厚的砂体,还远不能分辨厚度 5~13 m 的单个砂体。总体来讲,浊积砂与泥岩互层尽管也能表现出“砂包”反射,但往往反映的是砂层组的地震反射。钻井证实,东营凹陷浊积砂体的孔隙度大于 12%、渗透率大于 $2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时才能有油气聚集,且有随物性变好油气充满度变高的趋势。因此,物

性好坏直接影响浊积砂体的含油气性,寻找有利的浊积砂体成为勘探的关键工作。由于浊积砂体的厚度、岩性、物性空间变化快,浊积砂岩的速度变化较大,分布在 2 500~4 100 m/s,且随深度增加而增大,泥质围岩速度为 2 800~4 500 m/s。相对而言,浊积岩与纯泥岩速度差异较为明显,但灰质泥岩同样具有高速度、高密度、强振幅等特征,与浊积砂体反射特征类似,浊积岩与含灰质泥岩速度差异并不大。因此,有效识别薄互层状态下的薄层浊积砂体,有效识别灰质发育区的浊积砂体,成为当前浊积岩储层预测的主要问题。实践表明,甜点属性、地震波形指示反演、叠前弹性参数反演、岩性概率反演等技术,可以成为现阶段浊积砂岩油藏描述的有效技术。

(1) 甜点属性。正演模拟表明,浊积砂体与泥岩不同的厚度组合具有不同的属性特征,各种属性随储层厚度变化的敏感程度和变化趋势并不一样。当储层厚度小于 $3\lambda/8$ 时,振幅类和能量类属性随储层厚度增加而增加,频率类属性随厚度增加而减小;当厚度大于 $3\lambda/8$ 时,则呈反方向变化。因此,尽管利用单一的振幅属性可初步判断浊积砂体的平面分布范围,但要更好地识别有效储层则需要进行属性的组合。钻井表明,甜点属性即反射强度与瞬时频率均方根的比值能有效预测深水浊积岩中的单个砂体^[13]。其原理是地层中砂岩百分含量越高,地震反射强度越高、频率越低,利用甜点属性可以使储层特征更加突出。但甜点属性并不适用于灰质发育区。

(2) 地震波形指示反演。在灰质发育区,识别浊积岩储层需要做好以下 3 方面工作。一是测井

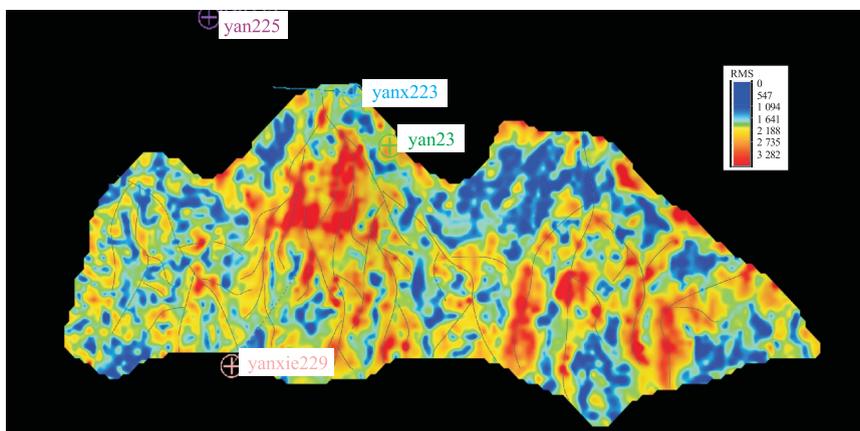


图 2 渤海湾盆地东营凹陷盐家地区沙四上亚段 8 砂组砂砾岩扇体辫状水道有利储层预测
拼音数字为井号,红色区域为砂砾岩发育区,蓝色区域为泥岩发育区

Fig.2 Prediction of favorable reservoirs in braided channel of conglomerate fan body in 8th subsection of upper section of fourth member of Shahejie Formation in Yanjia area, Dongying Depression

特征曲线重构。由于灰质含量的影响,单一测井曲线并不能有效区分浊积砂岩、灰质砂岩、灰质泥岩,但电阻率曲线与自然电位曲线进行组合却能有效区分砂岩与灰质泥岩,以这 2 条曲线为约束,对声波曲线进行重构,保留原始声波曲线的低频部分,改变其高频部分。这一重构过程,在保持重构后声波合成记录与原始声波曲线一致性的同时,并不改变声波合成地震记录的波组关系,但却放大了砂岩与灰质泥岩的速度差异。二是基于测井曲线重构的波形指示反演。传统的地质统计学反演采用的是空间域变差函数,需要井数多且井点分布均匀,在勘探程度较低的区域开展储层预测精度不高。由于地震波形分布密集,且波形在纵向上代表了岩性组合的调谐样式,在平面上反映了储层的相带变化,利用地震波形的变化来表征储层空间变异程度,既能体现地质条件的变化,更符合沉积规律,同时又不是单纯的变差函数数学统计结果,对钻井资料的依赖性大幅度降低,提高了预测精度。因此,采用地震波形指示反演^[14],从已知井出发利用波形相似性和空间距离 2 个因素构建信号域的变差函数,同时,通过曲线重构,对高频部分进行约束,使得原来高频的完全随机变成了部分确定,从而一定程度上压制了灰质的影响,提高了浊积砂岩的预测精度。

(3) 叠前弹性参数反演。岩石物理分析表明,浊积砂岩储层表现为高拉梅系数、低泊松比的特征,而灰质泥岩则呈现出低拉梅系数、高泊松比的特征。因此,采用叠前反演方法,直接反演拉梅系数与泊松比,砂岩储层与灰质泥岩之间有了明显的尖灭特征,可以有效地识别浊积砂岩。

(4) 岩性概率反演。主要包括 3 个步骤:一是通过恢复古地貌判断沉积相带分布范围;二是叠后多属性融合预测有利储层分布范围;三是地质统计学反演岩性概率刻画砂体边界。总之,叠前叠后反演得到纵波速度、横波速度、密度、泊松比等多种属性并组合使用,可以降低灰质发育区浊积砂岩储层预测的多解性。把基于测井资料分析得到的岩性概率函数应用到反演数据体中,可以得到相应岩性概率体,砂岩高概率与泥岩低概率表示为砂岩的可能性大,能够有效消除灰质成分影响,更精确地判断浊积砂岩储层。

2.4 滩坝砂岩油藏

济阳坳陷滩坝砂岩油藏主要发育在断陷期各凹陷的缓坡带。在纵向上以砂泥岩薄互层为主,横向上储层变化快。滩坝砂储层含油性与砂岩厚度、

储层物性密切相关,同一成油体系中储层厚度大、物性好的滩坝砂岩含油性较好。沙二段及沙四上亚段的滩坝砂埋藏深度在 1 200~4 000 m,速度变化大,主要在 2 700~4 100 m/s 之间且随深度增加而增大,泥质围岩速度 2 800~4 500 m/s,滩坝砂岩与泥岩的速度差异较小。滩坝砂岩油藏有利分布区目前也逐步被高精度三维地震所覆盖,地震主频一般在 27~30 Hz 之间,有效频宽 45~60 Hz,还难以分辨当前厚度 3~15 m 的滩坝砂岩。例如,车镇凹陷大王庄地区沙二段滩坝砂岩厚度大部分在 3~10 m 之间,本地区高精度三维地震主频 30 Hz,滩坝砂岩速度 3 300 m/s,以 $\lambda/4$ 作为地震最小可分辨厚度为 40 m,难以满足储层预测的需要。总体来看,滩坝砂地层及砂体尖灭带难以识别、储层地震特征不明显、地震预测困难成为当前勘探的技术难题。分析表明,在提高分辨率处理的基础上进行多属性融合预测储层,可以作为现阶段滩坝砂岩油藏地震描述的有效技术。

(1) HHT 谱白化基础之上的二阶微熵变换加 90°相位转换提高分辨率处理。通过 HHT 技术将地震信号分解成一系列高频到低频的成分^[15],结合谱白化技术对各分量进行处理,提高地震主频和带宽,从而提高地震剖面的分辨率。同时,考虑到砂泥岩薄互层段地震同相轴的强弱有时并不能反映真实的储层发育状况,因此将地震二阶微熵变换作为地震属性来识别薄层砂体反射界面的横向变化。具体做法是计算地震子波的不同分数阶导数,利用匹配追踪算法,将地震数据分解成地震子波的不同分数阶导数,进而获得反射波同相轴的分数阶。加 90°相位转换之后的反二阶微熵变换,显著地提升了同相轴的连续性以及同相轴的反射数目,有助于更准确地追踪砂体。

(2) 小时窗切片储层预测。正演模拟表明,任何滩坝砂砂泥互层组合样式的“砂组”在地震剖面上均具有明显的顶底面反射特征,但不同的组合样式其砂组内部反射特点有所不同,其中,厚砂薄泥型、砂泥相当互层型、厚泥薄砂型砂组的内部均呈现空白反射,砂多泥少互层型砂组内部则呈现多个反射。因此,以往以若干个砂组合并作为组段顶底开时窗为约束提取属性的做法,难以开展滩坝砂岩的精细预测和描述。有鉴于此,在当前的勘探研究中,多以砂组为时窗单元提取均方根振幅等属性,有效地提高了储层预测精度。

(3) 多属性融合预测。通过钻井与地震属性参数的相关性分析,提取储层的敏感属性,根据其

敏感性大小通过多属性融合加权重构形成多源性数据体,可以实现不同属性之间的加强和互补,放大强(弱)异常信号,提高强弱变化分界线的识别能力。数据分析表明,车镇凹陷南坡大王庄沙二段滩坝砂发育层段地震平均波谷振幅、瞬时相位、半能量、累加负振幅 4 个属性与储层厚度、孔隙度相关性高,因此,建立起这 4 个属性与储层参数的多元回归方程,就可以较好地开展储层预测。

2.5 复杂断块油藏

济阳拗陷不同层系均发育多个复杂断裂构造带,典型的如东营凹陷中央断裂背斜带、惠民凹陷中央断裂构造带等,断裂期次多、断层切割关系复杂、断块破碎严重。虽然断块油藏的储量增长高峰期已经过去,但针对这一油藏类型的精细挖潜每年仍具有近千万吨级的增储能力。由于断块油藏地震描述的复杂性,目前针对多个断裂带均已重新采集了小面元、高覆盖次数、宽方位观测的高精度三维地震,部分三维面元网格达到 $6.25\text{ m} \times 6.25\text{ m}$,覆盖次数通常大于 200 次以上。当前地震描述的难点主要是 5~8 m 断距低序级断层识别、大于 0.01 km^2 小断块精细刻画、圈闭有效性评价等。实践表明,利用高精度地震资料,通过断层增强处理,应用高分辨率相干体等多属性体联合识别断层,并进行小断层及大断层的平面组合优化、空间立体解释,可以精细刻画复杂小断块构造。

(1) 断层增强处理。在地震分频处理的基础上,通过地震资料相似性分析设定断层阈值,在大于阈值(相似性强)时利用倾角导向体中值滤波技术去掉随机噪音,提高其连续性;在小于阈值(相似性差,断层位置)时采用异常赋值处理,从而强调断层的不连续性,强化断层边缘处理效果。处理过程分为 3 个步骤:一是应用滑动三维傅立叶分析技术计算倾角导向体;二是开展地震数据相似性处理,应用倾角导向体数据进行地震资料相干处理,确定断层的相似性阈值;三是根据断层相似性阈值进行倾角导向体中值滤波处理,消除地震资料的随机干扰和异常噪音或者进行异常赋值处理。处理后的断点、断层之间的组合关系更加清晰,提高了低序级断层的识别描述精度。

(2) 复杂断块多属性体联合立体解释。开展准确精细的井震标定,利用井震结合做好地层细分对比,是复杂断块解释描述的重要基础性工作。在此基础上,利用高精度三维地震开展多体构造联合解释^[16]。多体构造解释技术提供了一种多数据体联合断裂系统的描述方法,针对复杂断块断裂系统

特征,以叠前 CRP 优化地震数据体为基础,分别针对常规构造、骨架断层和微幅构造、低序级断层,应用断层强化处理、提高分辨率处理等手段,获取断层强化数据体、相干数据体、提高分辨率数据体、地震断层数据体等,通过多数据体联合的方式精确描述断裂系统形态。具体可分为 3 个步骤:首先针对常规构造和骨架断层,应用断层强化处理得到强化相干数据,通过沿层相干属性并结合层位剖面得到初始断裂系统组合,描述常规构造和骨架断层;其次,在断层强化数据体上,得到提高分辨率处理数据体,在提高分辨率数据体上进行层面调整并加密解释,结合沿层相干属性提取,进行断裂系统组合调整,描述微幅构造及低序级断层;最后,在提高分辨率数据体的基础上,提取地震断层体,并沿层提取地震属性,进行断裂系统组合调整,进一步精细刻画低序级断层,最终进行整体断裂系统组合的调整,完成多体解释构造成图。可以看出,这种多体联合解释断裂系统的方法,与常规构造解释主测线和联络线闭合解释的做法有着明显不同。

(3) 断裂系统三维空间组合验证。当前的断裂系统解释已经脱离了以往主要依靠研究者经验的做法,更多的是通过构造应力场研究建立的构造型式为指导,通过井点处小断点的对比识别与井间小断层的预测解释,遵循“剖面定倾向、切片定走向、共同定产状”的断裂组合原则。首先利用沿层相干切片技术明确断层的平面组合特点;然后按照“相邻相似”的解释原则进行加密全道解释,进行分层系平面组合;最后按照断层编号,通过纵横测线闭合,进行全层系空间组合,实现浅、中、深层位断点准确、断层交接关系合理,真实还原断裂构造特征。

3 结论

(1) 济阳拗陷现阶段新发现油藏的储层厚度一般小于地震调谐厚度,现有的地震资料难以直接准确地表现有效储层的分布。

(2) 井震数据对比分析表明,振幅是河道砂岩、浊积砂岩等岩性油藏识别描述的常用地震属性,其描述精度随深度增加而降低。开展砂砾岩扇体、滩坝砂岩有效储层的预测需要融合应用多种敏感属性。利用高精度地震资料,通过断层增强处理,应用高分辨率相干体等多属性体联合识别断层,并进行小断层及大断层的平面组合优化、空间立体解释,可以精细刻画复杂小断块构造。

(3) 在实际应用地震描述技术时,应当根据地

震资料精度和品质,充分结合具体的地质条件,在做好岩石物理分析的基础上,具体情况具体甄别。通过采集精度更高、品质更好的三维地震资料,采用有针对性的有效技术,可以提高不同类型油藏的地震描述能力,进而提高控制、预测储量的升级能力以及新油藏的发现能力。

参考文献:

- [1] 张建宁,谭明友.济阳拗陷馆上段河道砂体地震识别方法:以孤南洼陷为例[J].油气地球物理,2004,2(3):41-45.
ZHANG Jianning, TAN Mingyou. Seismic identification method for Ng₂ of Jiyang Depression [J]. Petroleum Geophysics, 2004, 2(3):41-45.
- [2] 马立驰,王永诗,景安语.渤海湾盆地济阳拗陷隐蔽潜山油藏新发现及其意义[J].石油实验地质,2020,42(1):13-18.
MA Lichi, WANG Yongshi, JING Anyu. Discovery and significance of subtle buried hills in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(1):13-18.
- [3] 彭丽,伍轶鸣,练章贵,等.陆相断陷湖盆高频层序特征及其沉积演化:以渤海湾盆地济阳拗陷沙三下亚段为例[J].石油与天然气地质,2019,40(4):789-798.
PENG Li, WU Yiming, LIAN Zhangui, et al. Features and sedimentary evolution of high-frequency sequence in continental lacustrine rift basin: example of the lower Shahejie member 3 in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(4):789-798.
- [4] 路智勇,吴孔友.东营凹陷滑动及滑塌扇体特征及分布模式[J].特种油气藏,2020,27(3):8-13.
LU Zhiyong, WU Kongyou. Sliding slumping fan characterization and distribution patterns in Dongying Sag [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2020, 27(3):8-13.
- [5] 孟阳,李宇志,杨海中,等.东营凹陷永安镇油田沙四段永1砂砾岩体演化过程及成藏意义[J].油气地质与采收率,2019,26(5):58-65.
MENG Yang, LI Yuzhi, YANG Haizhong, et al. Evolution process and hydrocarbon accumulation significance of Yong1 glutenite body in Es₄ Member in Yonganzhen Oilfield, Dongying Sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2019, 26(5):58-65.
- [6] 李桥,王艳忠,操应长,等.东营凹陷盐家地区沙四上亚段砂砾岩储层分类评价方法[J].沉积学报,2017,35(4):812-823.
LI Qiao, WANG Yanzhong, CAO Yingchang, et al. Classified evaluation of sand-conglomerate reservoir of the upper section of the fourth member of Shahejie Formation in Yanjia area, Dongying Depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2017, 35(4):812-823.
- [7] 李来林,赵海波,吴清岭.致密薄储层“甜点”的地震综合预测技术[J].大庆石油地质与开发,2001,33(5):203-208.
LI Lailin, ZHAO Haibo, WU Qingling. Integrated seismic predicting technique for the “sweet spot” in tight thin reservoirs [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2001, 33(5):203-208.
- [8] 黄翔.基于EMD重构地震信号的去噪方法[J].油气地球物理,2017,15(2):18-23.

- HUANG Xiang. Denoising of the seismic signal reconstruction based on EMD [J]. Petroleum Geophysics, 2017, 15(2):18-23.
- [9] 刘庆敏,杨午阳,田连玉,等.基于EMD分解的地震相分析技术研究及应用[C]//中国石油学会2010年物探技术研讨会论文集.郑州:中国地球物理学会,中国石油学会,2010:508-513.
LIU Qingmin, YANG Wuyang, TIAN Lianyu, et al. Research and application of seismic facies analysis technology based on EMD decomposition [C]//Proceedings of 2010 symposium on geophysical exploration technology of China Petroleum Society. Zhengzhou: Chinese Geophysical Society, Chinese Petroleum Society, 2010:508-513.
- [10] 李存磊,张金亮,宋明水,等.基于沉积相反演的砂砾岩体沉积期次精细划分与对比:以东营凹陷盐家地区古近系沙四段上亚段为例[J].地质学报,2011,85(6):1008-1018.
LI Cunlei, ZHANG Jinliang, SONG Mingshui, et al. Fine division and correlation of glutenite sedimentary periods based on sedimentary facies inversion: a case study from the Paleogene strata of upper ES₄ in the Yanjia area, Dongying Depression [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(6):1008-1018.
- [11] 王惠勇,陈世悦,张云银,等.东营凹陷浊积岩优质储层预测技术[J].石油地球物理勘探,2014,49(4):776-783.
WANG Huiyong, CHEN Shiyue, ZHANG Yunyin, et al. Turbidite high-quality reservoir prediction in Dongying Depression [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2014, 49(4):776-783.
- [12] 刘明洁,季永承,刘震,等.牛庄洼陷砂岩透镜体成藏关键因素与富集条件研究[J].特种油气藏,2020,27(1):40-46.
LIU Mingjie, JI Yongcheng, LIU Zhen, et al. Key hydrocarbon accumulation factors and enrichment conditions of the sandstone lenses in Niuzhuang Sag [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2020, 27(1):40-46.
- [13] 张军华,刘杨,林承焰,等.甜点地震属性理论诠释及应用[J].石油地球物理勘探,2018,53(2):355-360.
ZHANG Junhua, LIU Yang, LIN Chengyan, et al. Theoretical annotation and application of sweetness [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2018, 53(2):355-360.
- [14] 杨涛,乐友喜,吴勇.波形指示反演在储层预测中的应用[J].地球物理学进展,2018,33(2):769-776.
YANG Tao, YUE Youxi, WU Yong. Application of the waveform inversion in reservoir prediction [J]. Progress in Geophysics, 2018, 33(2):769-776.
- [15] 冯玉苹.地震数据的Hilbert-Huang变换与瞬时属性提取[J].油气地球物理,2015,13(4):18-21.
FENG Yuping. Hilbert-Huang transform of seismic data and instantaneous attribute extraction [J]. Petroleum Geophysics, 2015, 13(4):18-21.
- [16] 牛拴文.东辛油田营1断块多体联合精细构造解释方法研究[J].石油天然气学报,2011,33(6):209-213.
NIU Shuanwen. Research of accurate structural interpretation in fault block Ying 1 of Dongxin oilfield by synthesizing many techniques [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(6):209-213.